

УДК 542.67:544.272

UDC 542.67:544.272

УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ НА АППАРАТАХ РУЛОННОГО ТИПА

MILK PRODUCTION FOR STAFF TYPE IN ROLLS

Бабёнышев Сергей Петрович
д.т.н., профессор
Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Babenyshev Sergey Petrovich
Dr.Sci.Tech., professor
Stavropol state agrarian university, Stavropol, Russia

Жидков Владимир Евдокимович
д.т.н., профессор
Ставропольский технологический институт сервиса, Ставрополь, Россия

Zhidkov Vladimir Yevdokimovich
Dr.Sci.Tech., professor
Stavropol state technological institute of service, Stavropol, Russia

Мамай Дмитрий Сергеевич
аспирант
Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Mamay Dmitry Sergeevich
postgraduate student
Stavropol state agrarian university, Stavropol, Russia

Уткин Виктор Павлович
аспирант
Ставропольский технологический институт сервиса, Ставрополь, Россия

Utkin Viktor Pavlovich
postgraduate student
Stavropol state technological institute of service, Stavropol, Russia

Проводится экспериментальное исследование процесса ультраfiltrации молочной сыворотки на аппарате рулонного типа, и выявляются основные закономерности

In the article, we conducted an experimental study of the process of ultrafiltration milk serum on the unit of coil type and identified main patterns of this process

Ключевые слова: БАРОМЕМБРАННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ, УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫЙ АППАРАТ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Keywords: BAROMEMBRANE CONCENTRATION, ULTRAFILTRATION MACHINE, PERMEABILITY

Повышение эффективности производства молока в настоящее время связывают с рациональным использованием вторичных продуктов его переработки. В частности, так называемые отходы, ценные в пищевом отношении, образуются при изготовлении казеина. Традиционная технология производства предусматривает отделение сыворотки, вследствие чего теряется некоторая часть белков, и возникает острый вопрос ее утилизации, который у нас в стране пока не до конца решен. В странах с хорошо развитой молочной промышленностью (Дания, Голландия, США, Германия, и т. д.) накоплен большой опыт по переработке молочной сыворотки, использование такого вторичного молочного сырья крайне необходимы и для отечественных предприятий, как с экологической, так и с экономической точек зрения.

Получение сывороточного белкового концентрата возможно методом

выпаривания, но это связано с высокими затратами энергии и потерей нативных свойств сывороточных белков. Альтернативой является баромембранное концентрирование. В силу относительной новизны данной технологии для переработки казеиновой сыворотки, необходимая для проектирования соответствующего оборудования научная информация, в частности параметры процесса ультрафильтрации, особенно по конкретным типам мембран, труднодоступна. Целью исследований являлось экспериментальное определение проницаемости и селективности полимерных мембран отечественного производства при ультрафильтрации казеиновой сыворотки.

Основные экспериментальные исследования процесса ультрафильтрации казеиновой сыворотки проводили на специальной полупромышленной установке укомплектованной стандартным элементом марки ЭРУ-100-1016. Такой подход к организации экспериментальных исследований позволяет исключить масштабирование, которое необходимо при разработке рекомендаций для промышленных установок на основе обработки результатов полученных в ходе экспериментальных исследований такого же процесса на лабораторном оборудовании. Это не только повышает достоверность данных, получаемых опытным путем, но сокращает объем экспериментальной работы.

Предварительный анализ литературных данных [6] и результатов собственных исследований [1-5] обусловили целесообразность проведения экспериментального изучения основных закономерностей процесса ультрафильтрации казеиновой сыворотки с использованием полимерных мембран марок УАМ-500 (50 KDa) и УАМ-150 (20 KDa) производства ЗАО НТЦ «Владипор» (г. Владимир). Так как в начальный период эксплуатации под действием давления полимерные мембраны деформируются [6], то предварительная «усадка» всех образцов мембран осуществлялась путем подачи в мембранный канал обратноосмотической воды при температуре $t = 48 \div 50^\circ\text{C}$, давлении $\Delta P = 0,35 \div 0,4$ МПа с циркуляцией в течение 60÷65 минут.

При ультрафильтрации казеиновой сыворотки основными факторами,

влияющими на проницаемость полимерных мембран, являются: длительность процесса (τ); температура сыворотки (t); величина рабочего давления в канале аппарата (ΔP); скорость циркуляции разделяемой системы (V); массовая доля частиц дисперсной фазы в разделяемой системе (C). На этапе экспериментальных исследований процесса ультрафильтрации казеиновой сыворотки были установлены зависимости проницаемости Q и селективности ϕ мембран от продолжительности процесса τ . При этом выбор численных значений других параметров процесса был ограничен: $\Delta P = 0,2 \div 0,5$ МПа, $t = 8 \div 12^\circ\text{C}$, $V = 0,15 \div 0,2$ м/с, $C = 8 \div 15\%$. Определение предельно допустимых значений параметра τ процесса ультрафильтрации казеиновой сыворотки было обусловлено критическим уменьшением проницаемости Q и соответствующим увеличением селективности ϕ мембран. Зависимости $Q = f_1(\tau)$ и $\phi = f(\tau)$ представлены на рисунках 1 и 2.

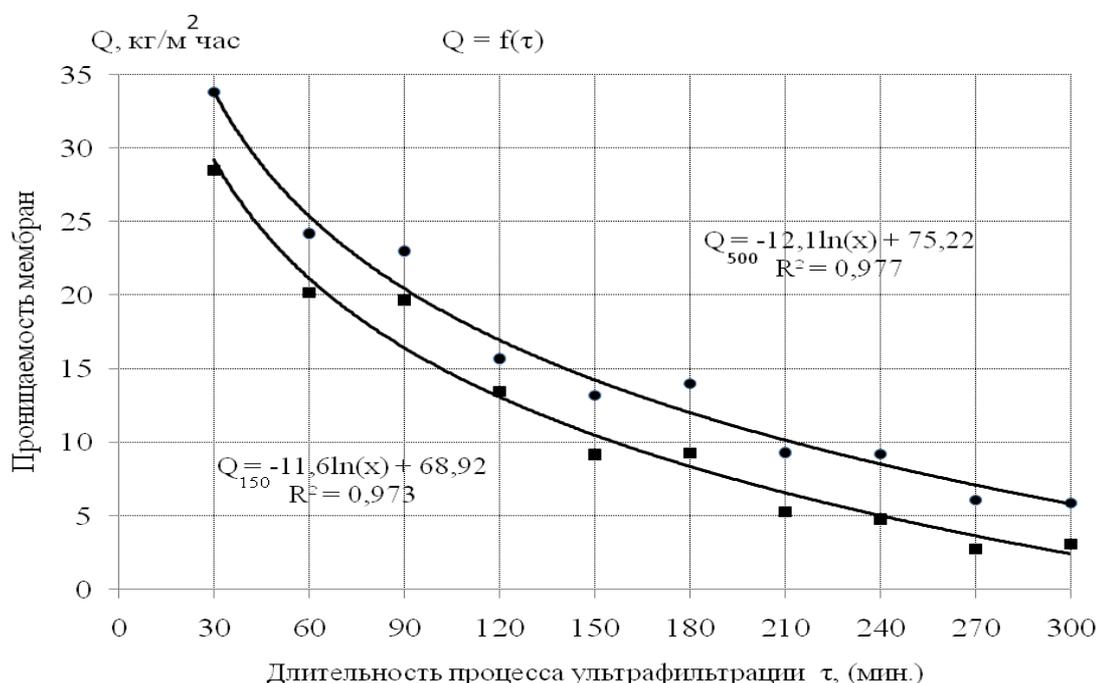


Рисунок 1 – Зависимость проницаемости Q мембран (● – УАМ-500, ■ – УАМ-150) от длительности процесса τ ультрафильтрационного разделения казеиновой сыворотки ($\Delta P = 0,33 \div 0,35$ МПа, $t = 8 \div 12^\circ\text{C}$, $V = 0,15 \div 0,2$ м/с, $C = 8 \div 8,1\%$.)

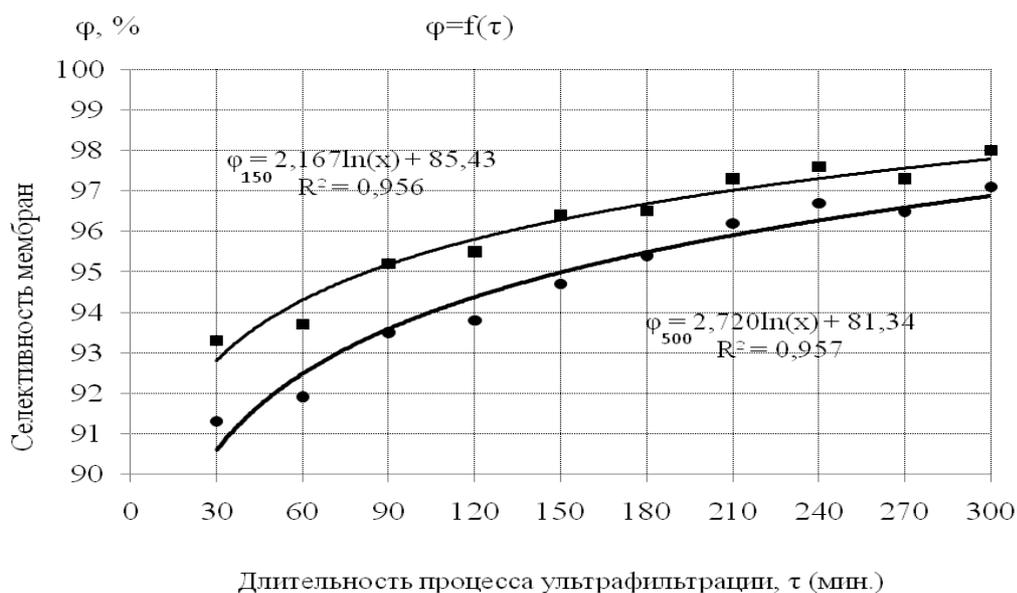


Рисунок 2 – Зависимость селективности φ мембран (● – УАМ-500, ■ – УАМ-150) от длительности процесса τ ультрафильтрации казеиновой сыворотки ($\Delta P = 0,33 \div 0,35$ МПа, $t = 8 \div 12^{\circ}\text{C}$, $V = 0,15 \div 0,2$ м/с, $C = 8 \div 8,1\%$.)

Анализ полученных результатов экспериментального исследования проницаемости и селективности мембран УАМ-500 и УАМ-150 от длительности процесса ультрафильтрационного разделения казеиновой сыворотки показал, что параметр Q обеих мембран в течение первых 60÷90 минут с начала процесса уменьшается почти на 50% от его начального значения (28÷30 кг/м²час). Дальнейшее снижение проницаемости происходит менее интенсивно и устанавливается на уровне 8÷10 кг/м²час через 200÷215 минут от начала процесса. То есть после формирования «первичных» слоев, в которых белковые молекулы путем адсорбционного взаимодействия с мембранной поверхностью образовали прочные связи, последующие слои, формирующиеся вследствие последующей адсорбции белковых молекул на «первичном» слое оказываются менее связанными между собой. И чем более удален такой слой отложений от мембранной поверхности, тем меньшей прочностью он характеризуется. Но монотонное снижение проницаемости не приводит к установле-

нию равновесия в процессе формирования слоев отложений и их разрушения потоком разделяемой системы. Увеличение селективности в течение первых 60÷90 минут с начала процесса происходит менее, чем на 30% от его начального значения (88÷90%). Затем этот параметр стабилизируется на уровне 95÷97% и продолжает снижаться. В тот период времени процесса ультрафильтрационного разделения казеиновой сыворотки, когда параметр ϕ асимптотически приближается к значению 98%, значение Q находится в диапазоне 5÷7 кг/м²час. Следовательно, частицы дисперсионной среды, молекулярная масса которых ниже этого показателя для белковых молекул, проходят через слои отложений и формируют поток пермеата.

Длительность процесса ультрафильтрации до мойки и регенерации мембран ограничивается значением $\tau = 4,5\div 5$ часов, так как за это время проницаемость мембран, в сравнении с первоначальными значениями, уменьшается в 3,5÷4 раза, что значительно повышает себестоимость готовой продукции. Селективность же мембран к концу 5-го часа работы установки возрастает до $\phi = 97\div 98\%$, что превышает требования, как технологий готовых продуктов, так и экономической рентабельности переработки сыворотки.

Известно, что то движущей силой процесса ультрафильтрации является перепад давления ΔP на полупроницаемой мембране [3-6]. Но наличие тангенциального потока разделяемой системы, движущейся вдоль мембранной поверхности, обуславливает существенное влияние и скорости циркуляции сыворотки V в канале баромембранного аппарата на проницаемость мембран. Изменение профиля концентрации частиц дисперсной фазы в примембранной зоне и одновременное разрушающее воздействие такого потока на слабо закрепленные слои белковых отложений на мембране приводит к тому, что параметр V становится не менее значимым в сравнении с ΔP . Это дает основание полагать, что при ультрафильтрационном разделении казеиновой сыворотки эффективность процесса будет определяться оптимальным соотношением, прежде всего, параметров τ , t , ΔP и V . Но продолжительность процесса ульт-

трафильтрации ограничена требованиями условий компоновки ультрафильтрационных установок в аппаратно-процессовую схему предприятия, а температура сыворотки t - технологическими условиями производства продукции. Исходя из этого первым этапом в решении задачи оптимизации основных параметров процесса ультрафильтрационного разделения казеиновой сыворотки следует считать экспериментальное определение зависимостей вида $Q=f(\Delta P)$ и $\varphi=f(\Delta P)$ для выбранных типов мембран, результаты которого представлены на рисунках 3 и 4. Установлено, что при фиксированных значениях параметров τ , t , V и C проницаемость Q обеих мембран существенно увеличиваются с возрастанием давления до $\Delta P = 0,4 \div 0,42$ МПа. Увеличение величины рабочего давления свыше $0,48 \div 0,5$ МПа не приводит к существенному росту Q , а селективность мембран при этом снижается до $\varphi = 95 \div 96\%$.

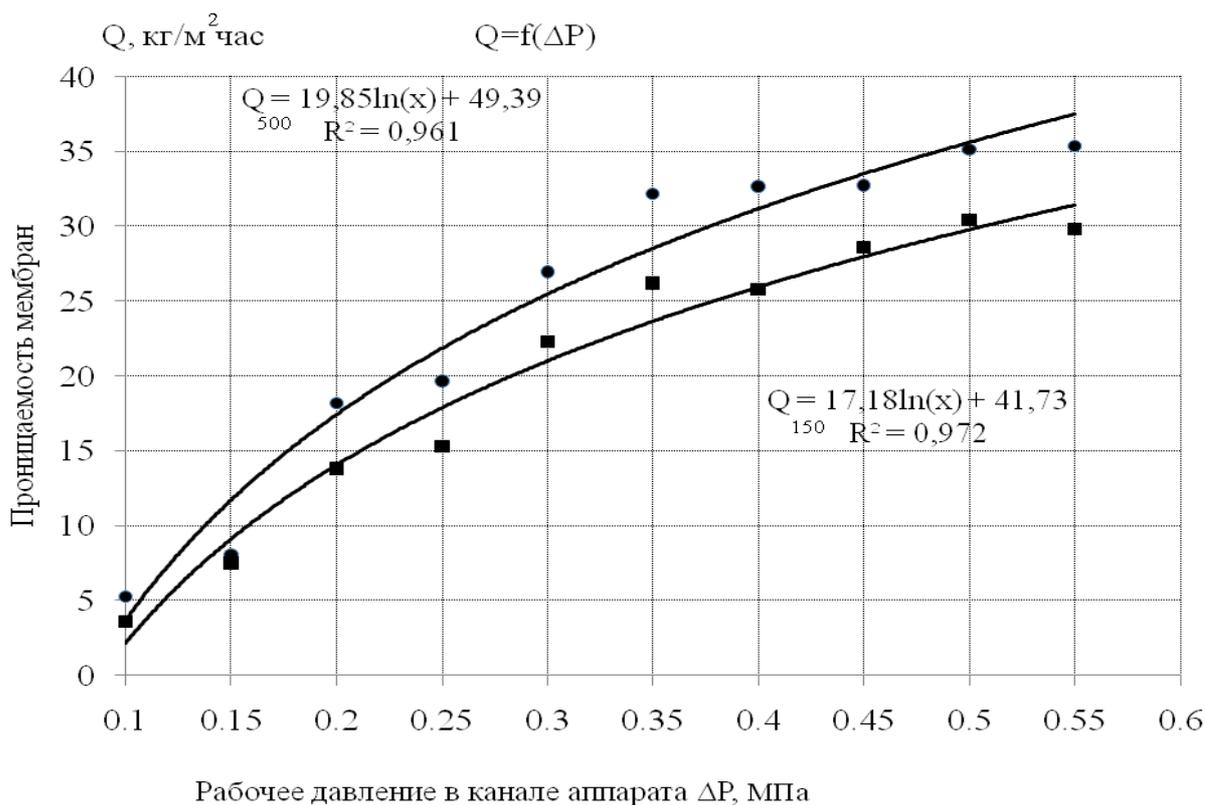


Рисунок 3 – Зависимость проницаемости Q мембран (● – УАМ-500, ■ – УАМ-150) от давления ΔP длительности процесса при ультрафильтрационном разделении казеиновой сыворотки ($t = 8 \div 12^0\text{C}$, $V = 0,15 \div 0,2$ м/с, $C = 8 \div 8,1\%$, $\tau = 210 \div 220$ мин.)

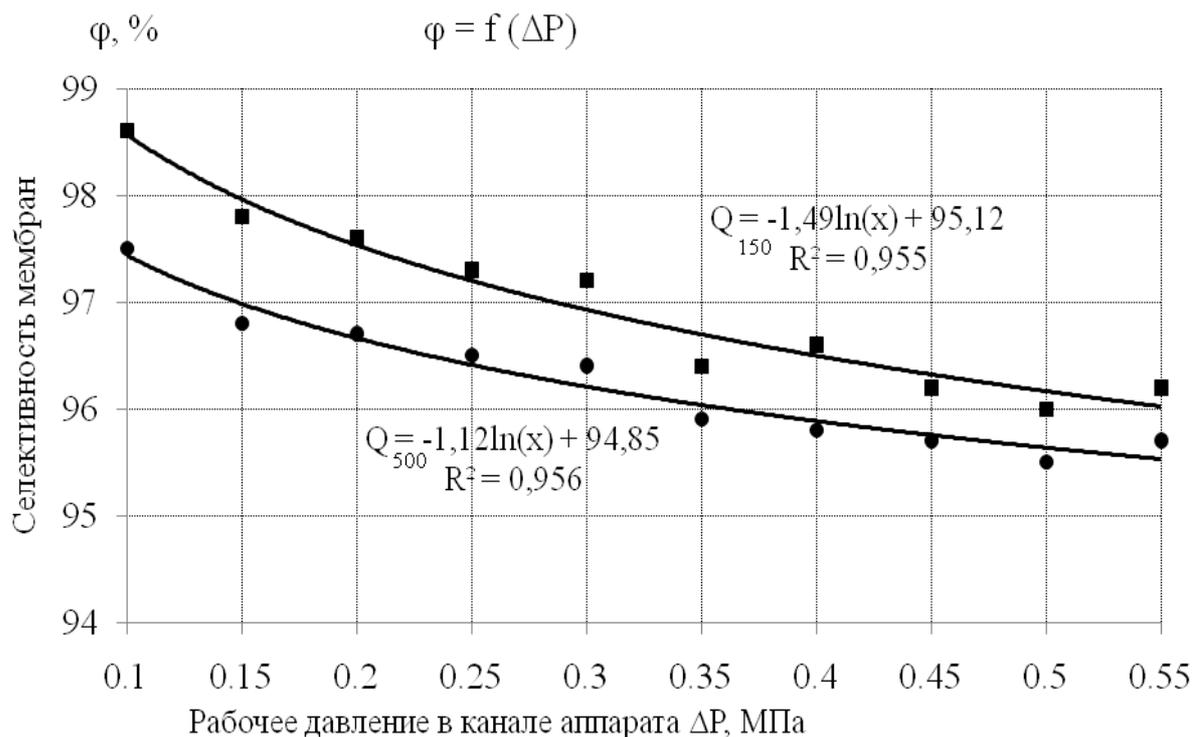


Рисунок 4 – Зависимость селективности φ мембран (● – УАМ-500, ■ – УАМ-150) от давления ΔP при ультрафильтрации казеиновой сыворотки ($t = 8 \div 12^\circ\text{C}$, $V = 0,15 \div 0,2$ м/с, $C = 8 \div 8,1\%$, $\tau = 210 \div 220$ мин.)

Это можно объяснить тем, что при таком давлении, скорее всего, может происходить деформация мембранной структуры, сопровождающаяся увеличением размеров пор, что и становится одной из причин интенсификации процесса проскока белковых частиц. В пользу такой трактовки свидетельствует то, что время мойки мембран, подвергавшихся воздействию рабочего давления свыше $0,45 \div 0,47$ МПа сокращалось в среднем на $10 \div 15\%$ в сравнении с продолжительностью этого процесса для мембран, работавших при значениях $\Delta P \leq 0,4 \div 0,42$ МПа.

Усредненное значение проницаемости Q мембраны УАМ-500 за полный цикл ультрафильтрации казеиновой сыворотки оказалось на $15-18\%$ выше такого показателя для мембраны УАМ-150. Это обусловлено тем, что средний условный диаметр пор мембран УАМ-500 больше, чем у УАМ-150 примерно в $2 \div 2,2$ раза. Но поскольку пористость мембран УАМ-150 выше, то

и значительного расхождения в проницаемости у обеих мембран не наблюдается. Косвенным подтверждением такому объяснению может послужить то, что селективность мембран УАМ-500 и УАМ-150 в начале процесса ультрафильтрации казеиновой сыворотки различается в среднем на $22 \div 25\%$, а уже через $120 \div 130$ минут эта разница уменьшается до $10 \div 12\%$. К концу процесса разница показателей селективности для обеих мембран не превышает $5 \div 7\%$. Из этого следует, что мембраны УАМ-500, имеющие более крупные поры, в начальный период эксплуатации подвержены более интенсивной, в сравнении с мембранами УАМ-150, блокировке порового пространства молекулами белка. При этом образование «первичных» слоев происходит не только на поверхности мембраны, но и в наиболее крупных порах, в которые могут попасть не только отдельные белковые молекулы, но и частицы механических примесей [3,5]. Анализ экспериментальных данных, отражающих зависимость селективности обеих мембран от рабочего давления в канале мембранного аппарата, показал, что при фиксированных значениях параметров τ , t , V и C параметр ϕ обеих мембран существенно увеличиваются с возрастанием давления до $\Delta P = 0,43 \div 0,45$ МПа. Увеличение величины рабочего давления свыше $0,48 \div 0,5$ МПа приводит к существенному росту селективности мембран до $\phi = 97 \div 98\%$. При этом прирост проницаемости составляет всего 4-5%, при существенном увеличении энергозатрат на проведение как процесса ультрафильтрации казеиновой сыворотки, так и последующей мойки мембран.

Существенное влияние на показатели проницаемости Q и селективности ϕ мембран при ультрафильтрационном разделении жидких полидисперсных систем оказывает, кроме величины рабочего давления и температуры разделяемой системы, скорость потока в канале баромембранного аппарата. Экспериментальные исследования зависимости параметров Q и ϕ мембран были проведены в производственных условиях с использованием рулонных мембранных элементов ЭРУ-100-1016. Соответствующие графические зависимости $Q = f(V)$ и $\phi = f(V)$ представлены на рисунках 5 и 6.

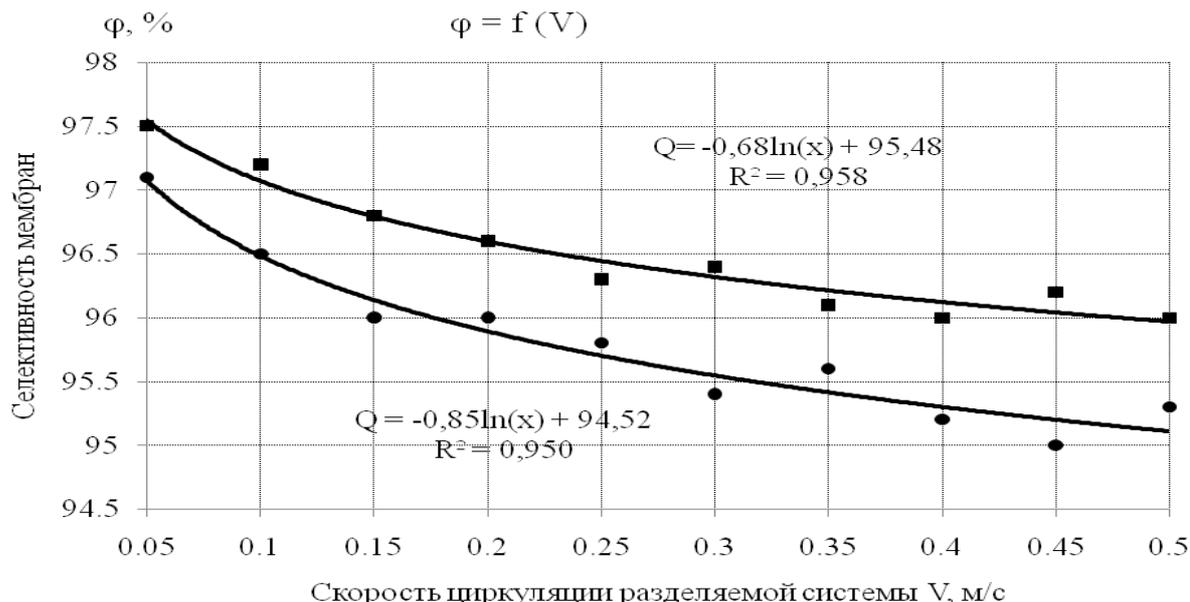


Рисунок 5 – Зависимость проницаемости Q мембран (● – УАМ-500, ■ – УАМ-150) от скорости циркуляции потока в мембранном канале аппарата при ультрафильтрации казеиновой сыворотки ($t = 10 \div 12^\circ\text{C}$, $\Delta P = 0,33 \div 0,35$ МПа, $C = 8 \div 8,1\%$, $\tau = 210 \div 220$ мин.)

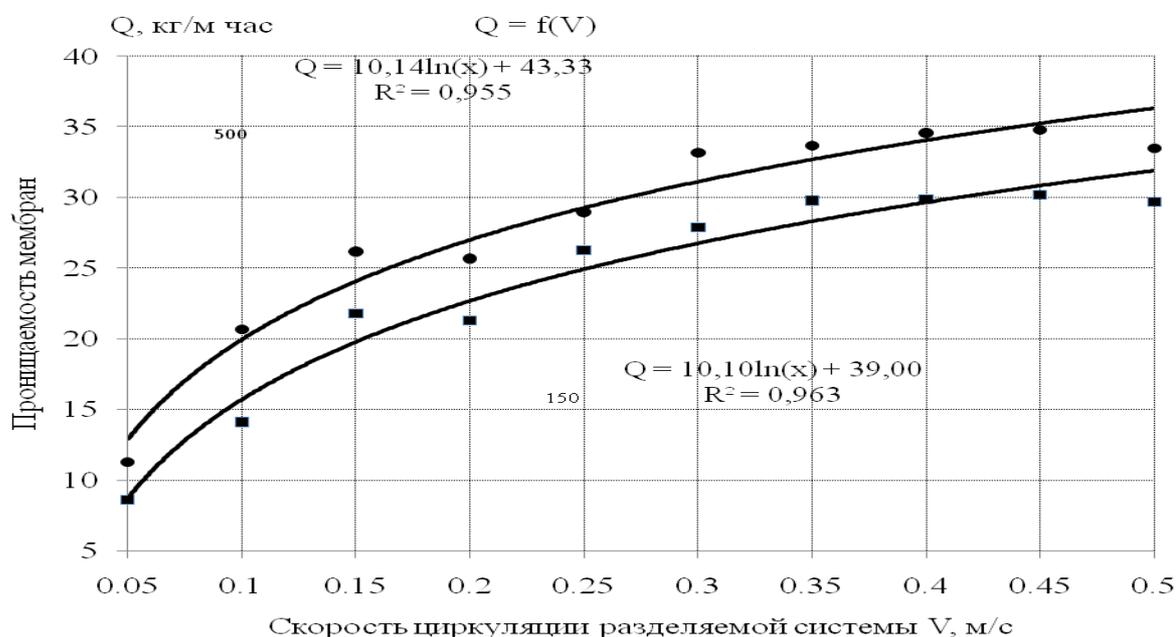


Рисунок 6 – Зависимость селективности φ мембран (● – УАМ-500, ■ – УАМ-150) от скорости циркуляции потока в мембранном канале аппарата при ультрафильтрационном разделении казеиновой сыворотки ($t = 10 \div 12^\circ\text{C}$, $\Delta P = 0,33 \div 0,35$ МПа, $C = 8 \div 8,1\%$, $\tau = 210 \div 220$ мин.)

Таким образом, анализ полученных зависимостей для мембран УАМ-150 и УАМ-500 показал, что для ультрафильтрации казеиновой сыворотки могут быть использованы обе мембраны, так как максимальное приращение скорости их проницаемостей (dQ/dV) происходит в диапазоне $V = 0,15 \div 0,25$ м/с. Но различия в значениях показателя ϕ дает основание полагать, что предпочтение одного из типов размеров будет определяться требованиями технологии дальнейшей переработки пермеата, регламентирующими содержание в нем остаточного количества белка. При этом необходимо будет учесть эффект межфакторного взаимодействия рабочего давления, скорости циркуляции и температуры казеиновой сыворотки при её ультрафильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1646533. Способ ультрафильтрации молочной сыворотки / А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов, С. П. Бабеньшев [и др.]; опубл. 1991, Бюл. № 17.
2. А. с. 1722382. Способ ультрафильтрации молочной сыворотки / А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов, С. П. Бабеньшев [и др.]; опубл. 1992, Бюл. № 12.
3. Инновационный потенциал технологии разделения жидких высокомолекулярных полидисперсных систем через нанопористые мембраны: Монография/ Бабеньшев С.П., Бабеньшев С.С., Евдокимов И.А., Жидков В.Е., Латышева Л.А. и др. Ставроп. технол. институт сервиса ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»:- Ставрополь: СТИС, 2010 - 143 с.
4. Бабеньшев, С. П., Евдокимов И. А. Баромембранное разделение жидких полидисперсных систем: монография. СевКавГТУ. Ставрополь, 2007. 123 с.
5. Бабеньшев, С. П. Научно-технические аспекты совершенствования процесса баромембранного разделения жидких полидисперсных систем: Дисс. ... докт. техн. наук. Ставрополь, 2007. 368 с.
6. Брок Т.Д. Мембранная фильтрация. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. 464 с.