

УДК 663.4:534.121.2  
DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1165-1171

## ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ МЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ ПИВОВАРЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© А.И. Ключников<sup>1)</sup>, К.К. Полянский<sup>2)</sup>, А.И. Потапов<sup>1)</sup>, С.А. Самохин<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий  
394036, Российская Федерация, г. Воронеж, пр-т Революции, 19  
E-mail: kaivanov@mail.ru

<sup>2)</sup> Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова  
394030, г. Воронеж, ул. Карла Маркса, 67а  
E-mail: kommerce\_tovarovedenie@mail.ru

Рассмотрены проблемы адаптации микрофльтрации пива для обеспечения коллоидной и биологической стойкости напитка. Приведены примеры частичного разрешения технико-технологических противоречий по использованию ядерных и керамических мембран и мембранных установок на их основе для осветления пива.

*Ключевые слова:* микрофльтрация; керамические и ядерные мембраны; биологическая и коллоидная стойкость пива; мембранная установка

Несомненным условием развития пивоваренного производства в сложившихся на сегодняшний день экономических условиях является создание и освоение высокоэффективных технологий, к которым предъявляется ряд принципиально новых требований. Прежде всего, эти технологии должны быть ресурс- и энерго-сберегающими, а также экологически безопасными. Этим требованиям во многом соответствуют мембранные технологии.

Вот далеко не полный перечень технологических процессов пивоваренного производства, в которых возможно применение мембранных технологий [1]:

- водоподготовка технологической воды;
- очистка производственного сжатого воздуха, например для аэрации пивного сула;
- осветление пива как на промежуточном, так и конечном этапах;
- выделение товарного пива из избыточных дрожжей;
- пастеризация и стерилизация пива;
- получение безалкогольного пива.

В статье речь пойдет в основном об основных проблемах реализации микрофльтрации в технологических процессах, связанных с обеспечением коллоидной и биологической стойкости готового напитка, а именно, фльтрации, стабилизации и пастеризации пива.

Несмотря на популярность мембранных технологий [2–4] и относительную их доступность, технологическое обновление процессов пивоварения с участием мембран связано с существенными проблемами специфического характера. Основные из них будут рассмотрены ниже, хотя каждая из названных проблем требует отдельного рассмотрения и всестороннего изучения.

**Многокомпонентность обрабатываемой продукции.** С точки зрения физической и коллоидной химии, пиво – гетерогенная система, представляющая собой водный раствор спирта, экстрактивных веществ солода,

вкусоароматических соединений, образовавшихся в процессах кипячения сула с хмелем и его брожения и созревания. Газообразная среда пива представлена диоксидом углерода, содержание которого не должно уменьшаться при фльтрации, т. к. он является важным компонентом в формировании вкуса напитка. Коллоиды с размерами менее 0,1 мкм в пиве представлены белками, углеводами, полифенолами, белково-дубильными веществами, оксалатами, имеющими как гидрофильный, так и гидрофобный характер. Следует отметить наличие в пиве микроорганизмов *Saccharomyces cerevisiae* (штаммы пивных и диких дрожжей), *Saccharomyces pastorianus*, *Pediococcus cerevisiae*, *Lactobacillus casei* с минимальными размерами 0,5 мкм, а также взвесей (использующиеся флтрирующие материалы, пивная и хмелевая дробина, иные технологические материалы) с размерами 1–60 мкм [5].

Таким образом, многокомпонентность пива накладывает определенные противоречия на процесс его микрофльтрации и требует всестороннего изучения в целях их разрешения.

**Специфика мембранного процесса и, как следствие, его высокая наукоемкость.** Несмотря на многолетние исследования российских и зарубежных ученых в области мембранных технологий, их практической реализации в различных отраслях промышленности, поведение системы «мембрана – раствор» остается малоизученным ввиду сложного состава и совокупности физических, химических и микробиологических свойств обрабатываемых жидких пищевых сред. Зачастую функционирование мембранной системы полностью нарушается даже при незначительных отклонениях в комплексе свойств жидкой пищевой среды, входящей в мембранный канал.

При изучении процессов диффузионного массопереноса жидких гетерогенных пищевых сред через полупроницаемые мембраны различной природы приходится

всегда сталкиваться с дополнительными трудностями, связанными с учетом дефектов структуры, пористости, усадки и т. д. Данные дефекты, безусловно, оказывают существенное влияние на процесс массопереноса и усугубляют сложную специфику межфазной границы «мембрана – раствор». Например, при микрофльтрации не следует пренебрегать действием поверхностных дисперсионных и электростатических сил на эффективность массопереноса, в противном случае имеют место быть случаи, когда мембрана пропускала частицы с одинаковыми размерами, но с различной химической природой, что в корне перечеркивало все преимущества мембранной технологии относительно ее избирательной пропускной способности [6].

Следует отметить сопутствующие явления, возникающие в процессе эксплуатации мембранных установок и вносящие необходимость постоянной их качественной корректировки для обеспечения стабильной эффективной работы. Одним из таких явлений является концентрационная поляризация – образование на поверхности мембраны слоя высокой концентрации растворенного вещества, значительно снижающего ее рабочие характеристики. Вполне логичным является создание любых возможных способов создания гидродинамической неустойчивости на межфазной границе «мембрана – раствор» с целью ее непрерывной модификации [7].

Для решения практических задач, связанных с определением тангенциальной скорости, был построен график зависимости удельной скорости микрофльтрации от режима движения технологической жидкости в мембранном канале (рис. 1). Снижение уровня концентрационной поляризации на мембране с разрешающей способностью 0,40 мкм наблюдалось при числах  $Re = 10000 \dots 11000$ , на мембране с разрешающей способностью 5,0 мкм –  $Re = 15000 \dots 16000$ . Полученные диапазоны чисел  $Re$  соответствуют величинам тангенциальных скоростей: для мембраны с размером пор

0,40 мкм – 3,5...3,8 м/с, для мембраны с размером пор 5,0 мкм – 2,0...2,5 м/с, что в принципе не противоречило условиям их практического применения.

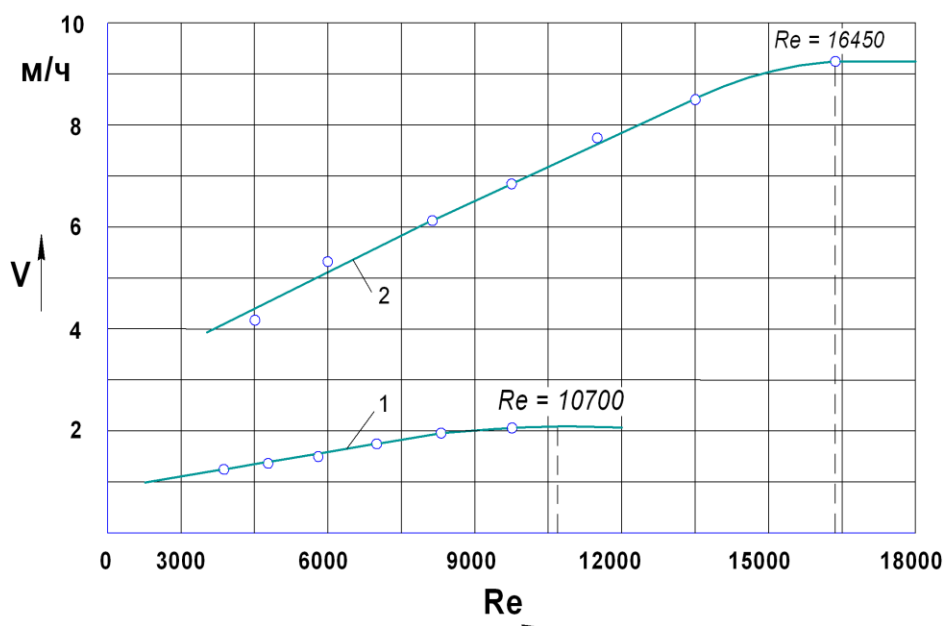
Повысить интенсификацию мембранных процессов в случае невозможности использования технических средств, размещаемых в мембранном канале, можно с помощью организации пульсационного поля, накладываемого на обрабатываемую технологическую жидкость.

Исследована проницаемость мембран с размерами пор 5,0 и 0,40 мкм при наложении пульсационного поля со следующими характеристиками: частота 0,002 Гц; периодичность 3...5 с; амплитуда 0,1...0,25 МПа; величина тангенциальной скорости 2,0...3,0 м/с. При наложении пульсационного поля проницаемость мембран увеличивалась в 1,5...2,5 раза по сравнению с отсутствием каких-либо мероприятий по интенсификации (рис. 2).

**Компромисс между степенью извлечения компонентов, содержащихся в пиве, и качеством конечной продукции.** Качество конечной продукции в сильной степени зависит от размера пор используемых мембран. Разумеется, чем ниже размер пор мембран, тем выше степень извлечения компонентов пива и, как следствие, ухудшение качества конечной продукции.

Например, для выяснения разрешающей способности керамических мембран с различным размером пор проводили исследования физико-химических показателей пива. Наибольший практический интерес представляло изучение физико-химических свойств образцов пива, прошедших микрофльтрацию в две стадии: предварительная микрофльтрация (1-я ступень) – керамическая мембрана с размерами пор 1,2; 3,0; 5,0 и 7,0 мкм и окончательная (финишная) микрофльтрация (2-я ступень) – керамическая мембрана с размерами пор 0,20 и 0,40 мкм.

Результаты анализов осветленного пива представлены в табл. 1. Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод об отличной фильтрующей способности



**Рис. 1.** Зависимость удельной скорости микрофльтрации пива на керамических мембранах с различным размером пор от числа Рейнольдса  $Re$ : 1 – 0,4; 2 – 5,0 мкм

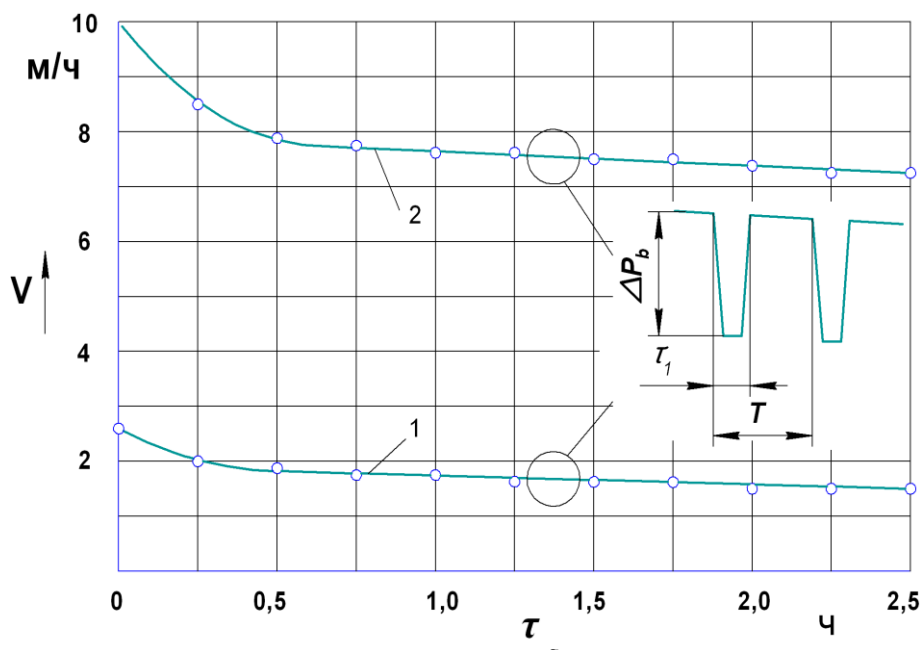


Рис. 2. Зависимость удельной скорости микрофильтрации пива на керамических мембранах с различным размером пор при наложении пульсаций: 1 – 0,40 мкм;  $\Delta P_b = 0,25$  МПа;  $\tau_1 = 3$  с;  $T = 600$  с; 2 – 5,0 мкм;  $\Delta P_b = 0,10$  МПа;  $\tau_1 = 5$  с;  $T = 600$  с

Таблица 1

Показатель	Размер пор керамических мембран, мкм			
	1,2	3,0	5,0	7,0
Количество микроорганизмов, млн кл/мл	0,60	1,02	1,38	3,10
pH	4,38	4,38	4,38	4,38
Мутность, ед. ЕВС	0,77	1,22	1,27	1,64

Таблица 2

Показатель	Размер пор керамических мембран, мкм	
	0,20	0,40
Количество микроорганизмов, млн кл/мл	не обнаружено	
pH	4,39	4,38
Мутность, ед. ЕВС	0,37	0,47
Экстрактивность начального сусла, %	10,55	11,0
Содержание спирта, % об.	4,0	4,0

пива для решения задач последующего его осветления. Определяющие показатели качества (содержание экстрактивных веществ, содержание спирта и т. д.) сознательно не определялись по причине того, что керамическая мембрана с разрешающей способностью 0,40 мкм уже не вызвала отклонений в указанных выше физико-химических показателях.

Результаты анализов осветленного пива с использованием керамических мембран с размером пор 0,20 и 0,40 мкм приведены в табл. 2.

При осуществлении процесса осветления пива микрофильтрацией на керамических мембранах с размером пор 0,20 и 0,40 мкм наблюдалось полное удаление дрожжей, белковых хлопьев и взвесей, однако, при использовании керамической мембраны с разрешающей способностью 0,20 мкм уменьшалось содержание

экстрактивных веществ и цветность. Следовательно, керамическая мембрана с разрешающей способностью 0,40 мкм являлась более эффективной по причине отсутствия изменений показателей качества осветленных образцов пива. Мембрану с данной разрешающей способностью следует рекомендовать для окончательного (финишного) осветления пива.

Результаты органолептической оценки образца пива, полученного с использованием двухстадийной микрофильтрации на керамических мембранах с размерами пор 5,0 и 0,40 мкм, показаны в табл. 3.

Осуществляли прогнозирование биологической стойкости пива (табл. 4), осветленного на керамических мембранах с размерами пор 5,0 и 0,40 мкм, используя методику, описанную Каглером [5].

Таблица 3

Наименование	Наименование средних показателей						Общий балл
	прозрачность	цвет	аромат	вкус		пенообразование	
				полнота	хмелевая горечь		
	0–3	0–3	1–4	2–5	2–5	2–5	макс. 25
Экспериментальное	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	22

Таблица 4

Мутность, ед. ЕВС	Коллоидная стойкость, сут.	
	максимальная	минимальная
1,63	90	40...55

**Необходимость обеспечения мойки и дезинфекции мембранной системы, а также ее консервации в случае простоев, даже непродолжительных по времени.** Во время микрофльтрации пива на поверхности мембраны происходит образование слоя гелевых отложений, что неизбежно приводит к уменьшению удельной скорости процесса (проницаемости мембраны), вплоть до его полной остановки. Для восстановления пропускающей способности мембраны необходимо проводить ее периодическую регенерацию, что является неотъемлемым элементом при осуществлении любого мембранного процесса. Причем речь идет о восстановлении той доли проницаемости, которая уменьшается вследствие закупорки, засорения пор мембран, образования отложений различной природы на их поверхности, в отличие от уменьшения пропускной способности мембран вследствие необратимой усадки пор под действием градиента давления. В конечном итоге эффективность регенерации определяет срок службы мембран в установках микрофльтрации, а следовательно, и экономическую составляющую используемого мембранного процесса.

Сегодня очень популярны керамические мембраны. Одно из преимуществ – высокая стойкость к растворам с рН от 1 до 14 и температурам до 85...90 °С. Следует отметить существующую опасность от необдуманного использования моющих и дезинфицирующих средств щелочного и кислотного характера. Например, мойка керамических мембран, содержащих алюминий, с использованием моющих средств на основе фосфорной кислоты приводит к необратимому их разрушению за счет замены оксида алюминия фосфат ионом. Использование азотной кислоты при мойке керамических мембран с циркониевым покрытием также приводит к их разрушению и необратимой потере первоначальных свойств. Полнота очистки мембран только с использованием гидроксида натрия не обеспечивается даже при его концентрации свыше 2 %. К дезинфекции керамических мембран также следует подходить с большой осторожностью, а именно, учитывать воздействие активно действующих веществ на материал и структуру мембран.

Очень важно, чтобы выбранные моющие и дезинфицирующие средства удовлетворяли требованиям по смачивающей, эмульгирующей и гидролизующей способности.

Следует иметь в виду, что в процессе эксплуатации мембранных установок, вследствие невозможного полного удаления органических соединений, на поверхно-

сти керамических мембранных элементов постепенно формируются биопленки, устранить которые при помощи традиционных моющих и дезинфицирующих средств не представляется возможным. Как показывают исследования авторов [8], наибольшая эффективность удаления биопленок с поверхности мембран обеспечивалась моющими средствами, содержащими ферментный препарат протеазу.

Таким образом, для мойки и дезинфекции мембран различных типов должен избирательно и тщательно производиться подбор моющих и дезинфицирующих средств по разработанному и отлаженному алгоритму.

**Обеспечение стабильности микробиологического состояния пива, прошедшего мембранную обработку, вплоть до момента его розлива.** При использовании ядерных мембран для микрофльтрации пива были получены следующие результаты, представленные в табл. 5.

Контрольное пиво имело обсемененность до 35 тыс. микроорганизмов в 1 мл. Микрофлора нефльтрованного пива была представлена дрожжами с размером от 4 до 12 мкм, кислотообразующими бактериями и споровыми формами.

Анализ полученных результатов показал, что ядерные мембраны с размером пор 0,7 мкм значительно сокращают содержание дрожжевых клеток в осветленном пиве. Так, из одной партии удалось получить фильтрат с количеством дрожжевых клеток в 1 мл от нескольких десятков до сотни в зависимости от дня высева. Однако при этом наблюдались достаточно малая проницаемость мембраны и изменение цветности осветленного пива, что явилось очередным отрицательным признаком в использовании ядерных мембран с размером пор менее 0,85 мкм. Стабильные результаты были получены для ядерной мембраны с размером пор 0,9 мкм. В этом случае фильтрат содержал от нескольких сотен до тысячи дрожжевых клеток в 1 мл.

В фильтрованном пиве в основном были обнаружены споровые формы бактерий и очень мелкие палочковидные микроорганизмы, попавшие в пиво на стадии затирания солода. Как показывают исследования пивоваров, подобные бактерии в пиве не развиваются.

Поскольку в осветленном пиве не были обнаружены вредные микроорганизмы и бактерии типа *Lactobacillus* и *Pediococcus*, можно полагать, что ядерные мембраны с размером пор 0,9 мкм могут быть вполне использованы для осветления пива. В противном случае потребуются мембраны с размером пор 0,45 мкм.

Таблица 5

Наименование испытуемого образца	Количество бактериальных клеток, ед./мл					
	Партия I			Партия II		
	1 день	3 день	4 день	1 день	3 день	4 день
Пиво до осветления	$1,7 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$
Пиво, осветленное на ядерной мембране с размером пор 0,7 мкм	6·10	7,5·10	9·10	5,8·10	7,0·10	8,5·10
Пиво, осветленное на ядерной мембране с размером пор 0,9 мкм	$1 \cdot 10^2$	$4,5 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$

Таким образом, после мембранной установки, в зависимости от требуемых задач, возложенных на мембранный процесс, пиво полностью стерильно. Первоочередной задачей технолога пивоваренного предприятия является обеспечение стабильных микробиологических показателей пива на пути его движения от мембранной установки до потребительской упаковки. В связи с этим необходимо иметь линию розлива для асептического розлива, предназначенную для работы только в паре с мембранной установкой. Использовать имеющиеся на предприятии линии розлива для фасования пива, прошедшего обработку на мембранах, абсурдно в силу описанных выше причин.

**Сохранение потребительских показателей качества пива в процессе мембранной обработки.** В процессе мембранной обработки пива через мембрану беспрепятственно проходят углекислый газ и субстрат, содержащий и экстрактивные вещества, и спирт. Задерживаются мембраной дрожжи, бактерии и взвеси, препятствующие созданию благоприятных условий для стабильной коллоидной и биологической стойкости. Требуется создание закрытой мембранной системы, функционирующей под избыточным давлением, предотвращающим выход углекислоты из обрабатываемого пива.

**Обеспечение процесса мембранной обработки пива высококвалифицированным персоналом.** Осуществлять выполнение и контроль технологического процесса и тем более обслуживание мембранной установки должен только высококвалифицированный персонал, имеющий представление о мембранной технологии, о процессах и явлениях, протекающих в мембранном канале на межфазной границе «мембрана – раствор».

Для компенсации отсутствия высококвалифицированного персонала многие фирмы-производители мембранного оборудования снабжают установки запредельным уровнем автоматизации, делая их конечную стоимость баснословно высокой.

**Выбор инжиниринговой компании, высокая итоговая стоимость проекта с участием мембранных процессов.** Как правило, существует минимальный набор требований к инжиниринговым компаниям, реализующих мембранные технологии в процессах пищевых производств. Среди них следует отметить:

- накопленный опыт выполнения аналогичных проектов;
- наличие в структуре компании проектного и конструкторского бюро;
- продолжительность работы на рынке;
- собственную производственную базу;
- предоставляемый уровень гарантийных обязательств и сервисного обслуживания.

К сожалению, отечественных компаний, соответствующих всем вышеперечисленным требованиям, на сегодняшний день считанные единицы.

Ключевым преимуществом инжиниринговой компании является наличие уже апробированной готовой мембранной технологии осветления пива. Как правило, разработка проекта микрофльтрации пива включает:

- проведение экспериментальных исследований микрофльтрации пива;
- подбор мембран и мембранного модуля;
- разработку рациональной схемы соединения мембранных модулей для достижения необходимой и достаточной степени осветления пива, а также необходимой производительности;
- разработку схем и выбор методов предварительного осветления пива;
- разработку алгоритмов мойки и регенерации мембран, а также выбор моющих и дезинфицирующих средств;
- решение вопросов, связанных с утилизацией образующихся отходов.

Сегодня среди российских инжиниринговых компаний нет ярко выраженных лидеров, обладающих этим ключевым преимуществом, поскольку подавляющее их большинство занимается водоподготовкой, технология которой хоть и сложна, но хорошо известна, и разделением воздуха на азот и кислород, что тоже давно разработано.

Высокая стоимость проектов линий мембранной обработки пива на сегодняшний день также является решающим фактором, сдерживающим применение процессов с участием мембран. Использовать мембранные технологии в своем арсенале технологических процессов могут себе позволить только очень крупные пивоваренные компании. Пивоваренные предприятия средней мощности и тем более мини-пивоварни используют классические технологические процессы осветления и пастеризации пива или вообще их не применяют, используя общедоступные и дешевые стабилизирующие материалы.

**Компромисс между существующими классическими технологиями осветления и пастеризации пива и мембранными процессами, в частности, микрофльтрацией.** Технично-экономические расчеты показывают, что мембранная технология, используемая при осветлении пива, оказывается намного предпочтительней по сравнению с кизельгуровой фильтрацией и пастеризацией. Приближенная стоимостная оценка микрофльтрации и фильтрования пива с помощью кизельгуровых фильтров приведена в табл. 6. Из табл. 6 видно, что при использовании керамических мембран для осветления пива общие затраты в 4 раза меньше, чем при фильтровании с помощью кизельгуровых фильтров.

Таблица 6

Параметры системы	Микрофильтрация	Фильтрация с помощью кизельгуровых фильтров
Производительность, дал/м <sup>2</sup> ч	900	900
Фильтрующая площадь, м <sup>2</sup>	55 (3 500 мембран)	258
Срок годности керамических мембран, лет	10	–
Расход кизельгура, г/м <sup>2</sup>	–	1. 700...800 (первичный слой) 2. 1 000 (основной слой) 3. 60...120 г/гл (текущее дозирование)
Потребление электроэнергии, кВт	150	50
<b>ЗАТРАТЫ</b>		
Амортизация, капитальные затраты, руб.	2 100 000	770 000
Стоимость энергии, руб./кВт	45 000	15 000
Замена мембран, руб./год	105 000	–
Технический уход, руб./год	33 000	40 000
Кизельгур, руб./год	–	7 240 000
Стоимость рабочей силы, руб./год	10 000	40 000
<b>Общие затраты, млн. руб./год</b>	<b>2,293</b>	<b>8,105</b>

Исходя из вышесказанного, на сегодняшний день практически не существует единой универсальной мембранной системы (установки), позволяющей получать продукт с требуемым набором свойств и обеспечивать функционирование мембранного процесса при минимальных энергозатратах.

Рассмотренные проблемы адаптации микрофильтрации для обеспечения коллоидной и биологической стойкости пива сложны и многогранны. Тем не менее уже на сегодняшний день можно показать частичное разрешение технико-технологических противоречий по использованию мембранной технологии в пивоварении, а также наметить основные тенденции по ее дальнейшему совершенствованию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермолаева Г.А., Колчева Р.А.* Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков. М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2000. 416 с.

2. *Мак-Кечни М.* Фильтрация или процесс разделения твердых частиц и жидкости // *Спутник пивовара*. 1997. № 1. С. 19-24.
3. *Хоффман С.* Холодостерильная фильтрация на пивзаводе производительностью 1,4 миллиона гектолитров в год // *Мир пива*. 1998. № 2. С. 12-15.
4. *Gan Q., Howell J.A., Field R.W., England R., Bird M.R., O'Shaughnessy C.L., MeKechinie M.T.* Beer clarification by microfiltration – product quality control and fractionation of particles and macromolecules // *Journal of Membrane Science*. 2001. V. 194. № 2. P. 185-196.
5. *Мелодина Т.В.* Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. СПб.: Профессия, 2003. 304 с.
6. *Тимашев С.Ф.* Физикохимия мембранных процессов. М.: Химия, 1998. 240 с.
7. *Ключников А.И., Полянский К.К., Абоносимов О.А.* Массоперенос при микрофильтрации, осложненный концентрационной поляризацией // *Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки*. Тамбов, 2015. Т. 20. Вып. 6. С. 1790-1794.
8. *Кузина Ж.И., Маневич Б.В., Харитонова Е.Б.* Ферментная мойка для регенерации ультрафильтрационных установок // *Молочная промышленность*. 2016. № 12. С. 63-65.

Поступила в редакцию 22 июля 2017 г.

Ключников Андрей Иванович, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, e-mail: kaivanov@mail.ru

Полянский Константин Константинович, Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, г. Воронеж, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры коммерции и товароведения, e-mail: kommerce\_tovarovedenie@mail.ru

Потапов Андрей Иванович, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств, e-mail: a.i.rotarov@rambler.ru

Самохин Сергей Анатольевич, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация, магистрант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, e-mail: ssamokhin@bk.ru

UDC 663.4:534.121.2

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1165-1171

## PROBLEMS OF ADAPTING MEMBRANE TECHNOLOGY TO THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE BREWING INDUSTRY

© A.I. Klyuchnikov<sup>1</sup>, K.K. Polyansky<sup>2</sup>, A.I. Potapov<sup>1</sup>, S.A. Samokhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies

19 Revolutsii Ave., Voronezh, Russian Federation, 394036

E-mail: kaivanov@mail.ru

<sup>2</sup> Plekhanov Russian University of Economics, Voronezh branch

67a Karl Marx St., Voronezh, Russian Federation, 394030

E-mail: kommerce\_tovarovedenie@mail.ru

The problems of adaptation of beer microfiltration to ensure the colloid and biological stability of the drink are considered. Examples of partial resolution of technical and technological contradictions on the use of nuclear and ceramic membranes and membrane plants based on them for clarifying beer are given.

**Keywords:** microfiltration; ceramic and nuclear membranes; biological and colloidal resistance of beer; membrane installation

### REFERENCES

1. Ermolaeva G.A., Kolcheva R.A. *Tekhnologiya i oborudovanie proizvodstva piva i bezalkogol'nykh napitkov* [Technology and Production Facilities of Beer and Non-Alcoholic Drinks]. Moscow, "Institute of Professional Education Development" Publ., "Akademiya" Publishing Centre, 2000, 416 p. (In Russian).
2. Mak-Kechni M. Fil'trovanie ili protsess razdeleniya tverdykh chastits i zhidkosti [Filtering or the process of particle sorting and liquid]. *Sputnik pivovara – Brewer's Companion*, 1997, no. 1, pp. 19-24. (In Russian).
3. Khoffman S. Kholodosteril'naya fil'tratsiya na pivzavode proizvoditel'nost'yu 1,4 milliona gektolitrov v god [Cold and sterile filtration at brewery with the production of 1.4 million hectoliters per year]. *Mir piva – World of Beer*, 1998, no. 2, pp. 12-15. (In Russian).
4. Gan Q., Howell J.A., Field R.W., England R., Bird M.R., C.L. O'Shaughnessy, MeKechinie M.T. Beer clarification by microfiltration – product quality control and fractionation of particles and macromolecules. *Journal of Membrane Science*, 2001, vol. 194, no. 2, pp. 185-196.
5. Meledina T.V. *Syr'e i vspomogatel'nye materialy v pivovarenii* [Raw Materials and Supporting Materials in Brewery]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2003, 304 p. (In Russian).
6. Timashev S.F. *Fizikokhimiya membrannykh protsessov* [Physicochemistry of Membrane Processes]. Moscow, Chemistry Publ., 1998, 240 p. (In Russian).
7. Klyuchnikov A.I., Polyanskiy K.K., Abonosimov O.A. Massoperenos pri mikrofil'tratsii, oslozhnennyy kontsentratsionnoy polarizatsiyei [Mass transfer in microfiltration, complications in concentration polarization]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2015, vol. 20, no. 6, pp. 1790-1794. (In Russian).
8. Kuzina Zh.I., Manevich B.V., Kharitonova E.B. Fermentnaya moyka dlya regeneratsii ul'trafil'tratsionnykh ustanovok [Enzymes cleaning for regeneration of the ultra-filtration plants]. *Molochnaya promyshlennost' – Dairy Industry*, 2016, no. 12, pp. 63-65. (In Russian).

Received 22 July 2017

Klyuchnikov Andrey Ivanovich, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, Doctor of Technics, Associate Professor, Professor of Machines and Devices of Food Production Department, e-mail: kaivanov@mail.ru

Polyansky Konstantin Konstantinovich, Plekhanov Russian University of Economics, Voronezh branch, Voronezh, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor of Commerce and Commodity Studies Department, e-mail: kommerce\_tovarovedenie@mail.ru

Potapov Andrey Ivanovich, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor of Machines and Devices of Food Production Department, e-mail: a.i.potapov@rambler.ru

Samokhin Sergey Anatolievich, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, Master'S Degree Student, Machines and Devices of Food Production Department, e-mail: ssamokhin@bk.ru

**Для цитирования:** Ключников А.И., Полянский К.К., Потанов А.И., Самохин С.А. Проблемы адаптации мембранной технологии к технологическим процессам пивоваренной промышленности // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1165-1171. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1165-1171

**For citation:** Klyuchnikov A.I., Polyansky K.K., Potapov A.I., Samokhin S.A. Problemy adaptatsii membrannoy tekhnologii k tekhnologicheskim protsessam pivovarennoy promyshlennosti [Problems of adapting membrane technology to the technological processes of the brewing industry]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1165-1171. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1165-1171 (In Russian, Abstr. in Engl.).