

Научная статья

УДК 66.067

DOI 10.24888/2541-7835-2023-30-20-30

АДАПТАЦИЯ ПРОЦЕССА МИКРОФИЛЬТРАЦИИ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ ФИЛЬТРОВАНИЯ ПИВА

Ключников Андрей Иванович^{1✉}, **Казарцев Дмитрий Анатольевич**²,
Жуковская Светлана Викторовна³, **Бабаева Мария Васильевна**⁴,
Ключникова Дина Васильевна⁵

^{1,2,3,4}Московский государственный университет технологий и управления
им. К. Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

⁵Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

¹kaivanov@mail.ru✉

²kda_79@mail.ru

³zhu2165@yandex.ru

⁴m.babaeva@mgutm.ru

⁵dina.key@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются перспективы процесса мембранной фильтрации пива при тупиковой и проточной схеме организации с целью увеличения коллоидной и биологической стойкости напитка. Представлены основные преимущества и недостатки организации процесса мембранной фильтрации пива по тупиковой и проточной схеме; приведены машинно-аппаратурные схемы процессов фильтрации на основе мембранных картриджей, реализующих механизм тупиковой микрофильтрации и трубчатых керамических мембран, осуществляющих проточную схему разделения продукта; указаны области применения мембранной фильтрации в пивоваренной отрасли, в частности, для выделения товарного пива из лагерных осадков. Отдельное внимание уделено результатам экспериментальных исследований мембранной фильтрации пива при тупиковой и проточной схеме организации процесса с использованием полимерных мембран; показан положительный эффект от использования мембранной фильтрации в технологии фильтрования пива; получены физико-химические, микробиологические и органолептические показатели качества образцов пива, осветленных мембранной фильтрацией с помощью полимерных мембран с различной пористостью; достигнута максимальная биологическая стойкость напитка при хранении. Рассмотрены основные проблемы массовой адаптации процесса мембранной фильтрации к технологическим процессам фильтрования пива на предприятиях пивоваренной отрасли и пути их возможного разрешения.

Ключевые слова: пиво, тупиковая и проточная микрофильтрация, мембрана, биологическая стойкость.

Для цитирования: Адаптация процесса микрофильтрации к технологическим процессам фильтрования пива / А.И. Ключников, Д.А. Казарцев, С.В. Жуковская, М.В. Бабаева, Д.В. Ключникова // Агропромышленные технологии Центральной России. 2023. № 4(30). С. 20-30. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-30-20-30>.

Original article

ADAPTATION OF THE MICROFILTRATION PROCESS TO THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF BEER FILTERING

Andrey I. Klyuchnikov^{1✉}, Dmitry A. Kazartsev², Svetlana V. Zhukovskaya³, Maria V. Babaeva⁴, Dina V. Klyuchnikova⁵

^{1,2,3,4}Moscow State University of Technology and Management them. K. G. Razumovsky (PKU)

⁵Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

¹kaivanov@mail.ru✉

²kda_79@mail.ru

³zhu2165@yandex.ru

⁴m.babaeva@mgutm.ru

⁵dina.key@mail.ru

Abstract. This article discusses the prospects for the process of membrane filtration of beer with a dead-end and flow-through organization scheme in order to increase the colloidal and biological stability of the drink. The main advantages and disadvantages of organizing the process of membrane filtration of beer using a dead-end and flow-through scheme are presented, machine and hardware diagrams of filtration processes based on membrane cartridges that implement the mechanism of dead-end microfiltration and tubular ceramic membranes that implement a flow-through scheme of product separation are given, and areas of application of membrane filtration in the brewery are indicated. Industry, in particular, to isolate marketable beer from lager sludge. Special attention is paid to the results of experimental studies of membrane filtration of beer with a dead-end and flow-through process organization using polymer membranes, the positive effect of using membrane filtration in beer filtration technology is shown, physicochemical, microbiological and organoleptic quality indicators of beer samples clarified by membrane filtration with Using polymer membranes with different porosities, the maximum biological stability of the drink during storage is achieved. The main problems of mass adaptation of the membrane filtration process to technological processes of beer filtration at brewing industry enterprises and ways of their possible resolution are considered.

Keywords: beer, dead-end and flow microfiltration, membrane, biological stability.

For citation: Adaptation of the microfiltration process to the technological processes of beer filtering / A.I. Klyuchnikov, D.A. Kazartsev, S.V. Zhukovskaya, M.V. Babaeva, D.V. Klyuchnikova // Agro-industrial technologies of Central Russia, 2023, no. 4(30), pp. 20-30. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-30-20-30/>

Введение

Применение мембранной технологии в технологических процессах производства пива позволяет получать продукцию с новым набором свойства, качественно улучшающих состав напитка. Классические процессы (тепловая обработка, использование иммобилизованных ферментных препаратов, адсорбентов, антиокислителей и т.д.) увеличения коллоидной и биологической стойкости напитков брожения явно уступают в наборе преимуществ по сравнению с мембранными процессами осветления, для которых характерны низкие, более благоприятные для сохранности качества пива, температуры, пониженные энергетические затраты, улучшенные микробиологические условия процесса, отсутствие изменения вкусоароматических свойств в силу специфики мембранного осветления [3, 5, 11]. На сегодняшний день существуют два принципиально разных способа организации процесса фильтрации пива с использованием микрофильтрации: тупиковая и тангенциальная схемы.

1. Тупиковая одно- и многокаскадная микрофильтрация («dead-ended-filtration»), реализуемая с использованием картриджных систем с различным порогом задержания. Пиво подается (рис. 1) перпендикулярно поверхности мембранного картриджа, оставшиеся дрожжевые клетки, бактерии, коллоидные включения, белки и другие примеси задерживаются на поверхности мембраны и со временем образуют слой осадка, который в значительной степени блокирует поры мембран. При этом проницаемость мембранного картриджа и вовсе может снизиться до минимальных значений, потребуется его замена или регенерация обратным током [1, 12].

В связи с этим прямой процесс тупиковой микрофльтрации нефильтрованного пива, в принципе невозможен в производственных условиях без предварительного осветления напитка. Именно разнообразное сочетание различных методов и оборудования для предварительного фильтрования с микрофльтрацией позволяет достигать определенных положительных целей при выборе данного способа обработки пива. Как правило, для предварительного осветления нефильтрованного пива используют намывные фильтры (свечные, дисковые, рамные), декантеры (шнековые центрифуги), центробежные сепараторы, насыпные фильтры, реализующие механизмы глубинной фльтрации и т.д. Это позволит осуществлять мембранное фильтрование в течение нескольких часов, в противном случае картриджи пришлось бы заменять на новые каждые 20-30 мин, что неприемлемо с экономической точки зрения [1, 12].

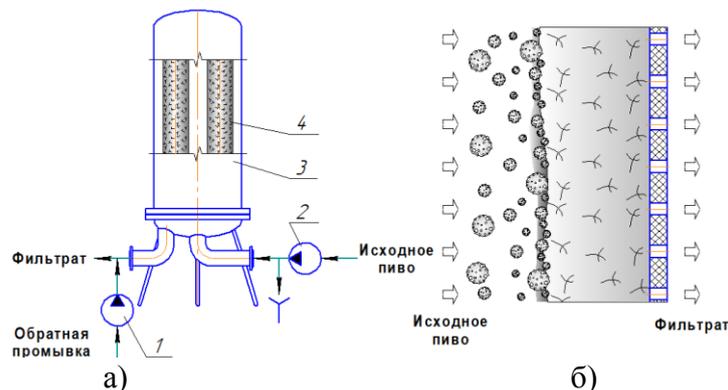


Рисунок 1. Организация тупиковой микрофльтрации с использованием мембранных картриджей: а) схема продуктовых потоков: 1 – насос для промывки; 2 – фильтродержатель; 3 – мембранный картридж; 4 – питающий насос; б) схема явлений и процессов, происходящих на мембране

В качестве примера рассмотрим машинно-аппаратурные схемы линий многокаскадной тупиковой микрофльтрации с использованием фильтродержателей, представленные на рис. 2 и 3. Пиво после окончания процессов главного брожения и созревания подвергают предварительному фильтрованию с помощью различных зернистых загрузок с целью максимального извлечения дрожжевых клеток, белка, взвесей различного характера для исключения моментальной закупорки фильтрующей поверхности мембранного картриджа [1, 4, 6]. Осветление пива на мембранных картриджах проводят при температуре созревания, т.е. 2-4 °С, что позволяет в решающей мере сохранить качество напитка. Использование фильтродержателей с мембранными фильтрующими патронами позволяет получить эффект равносильный пастеризации, т.е. обеспечить требуемую коллоидную и биологическую стойкость непосредственно перед розливом пива, при условии его проведения в стерильных условиях [7, 10, 12].

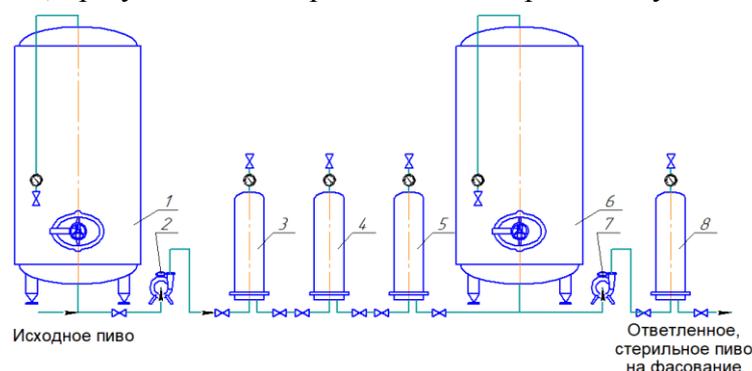


Рисунок 2. Машинно-аппаратурная схема линии тупиковой микрофльтрации пива с использованием фильтродержателей с мембранными картриджами: 1 – танк с исходным пивом; 2; 7 – насос; 3; 4; 5; 8 – фильтродержатель с мембранными картриджами с размерами пор 10,0; 5,0; 1,0 и 0,45 мкм соответственно; 6 – танк промежуточный

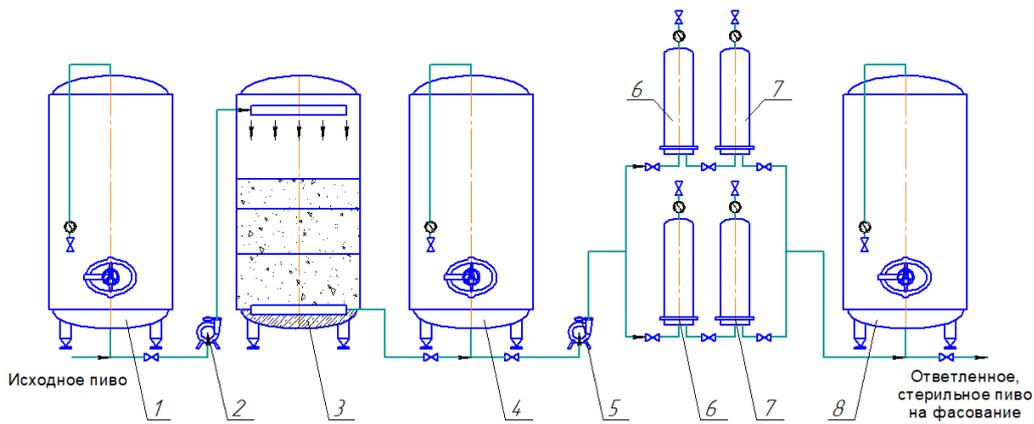


Рисунок 3. Машинно-аппаратурная схема линии тупиковой микрофльтрации пива с использованием насыпного фильтра глубинной очистки:

- 1 – танк с исходным пивом; 2 – насос; 3 – насыпной фильтр; 4 – танк промежуточный; 5 – насос; 6; 7 – многокаскадная система микрофльтрации с мембранными картриджами с размерами пор 1,0 и 0,45 мкм соответственно; 8 – танк с осветленным пивом

2. Тангенциальная микрофльтрация («cross-flow-filtration»), реализуемая с использованием трубчатых керамических или полимерных полволоконных мембран, вовлеченных в замкнутый циркуляционный контур. Пиво подается (рис. 4) питающим насосом в циркуляционный контур, в котором с помощью дополнительного насоса прокачивается с высокой скоростью (обычно 2-4 м/с) вдоль трубчатой мембраны. Это позволяет исключить преждевременное снижение производительности мембран, как в случае с тупиковой микрофльтрацией, увеличить продолжительность работы между циклами регенерации до 30-50 ч, проводить в отдельных случаях процесс разделения без предварительного осветления пива [1, 8, 9].

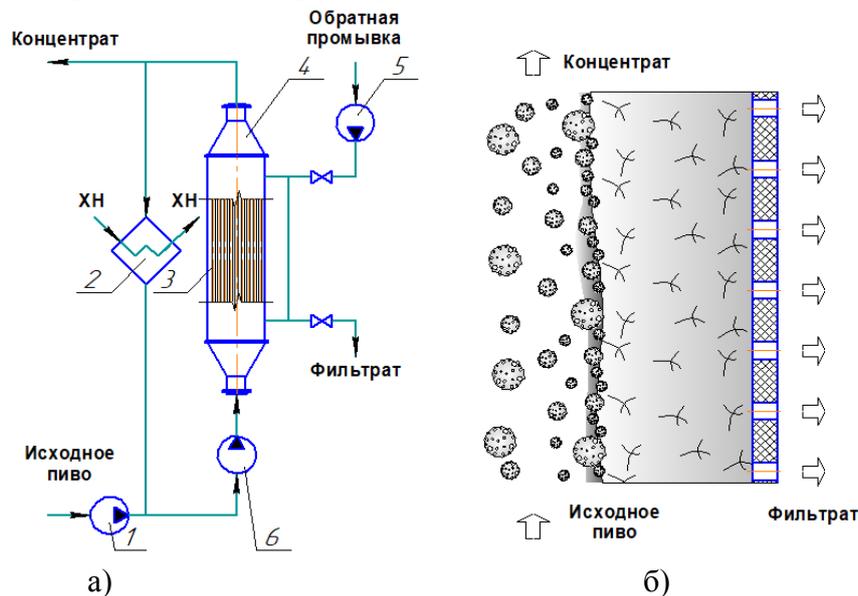


Рисунок 4. Схема тангенциальной микрофльтрации с использованием мембранных модулей трубчатого типа:

- а) схема продуктовых потоков: 1 – питающий насос; 2 – теплообменник-охладитель; 3 – керамическая мембрана; 4 – трубчатый мембранный модуль; 5 – насос обратной промывки; 6 – циркуляционный насос;
 б) схема явлений и процессов, происходящих на мембране; ХН – хладоноситель

Благодаря этим признакам применение тангенциальной микрофльтрации в пивоварении в последние годы продолжает увеличиваться. Следует отметить повсеместное использование тангенциальной микрофльтрации на базе керамических мембран крупными пивзаводами в качестве основного процесса по извлечению товарного пива из лагерных осадков, а также производстве пива под брендом «cold filtered beer» без применения тепловой обработки пастеризацией [1, 4, 6].

Машинно-аппаратурная схема линии по извлечению товарного пива из лагерных осадков с использованием мембранных модулей трубчатого типа представлена на рис. 5. Избыточные дрожжи вместе с пивом, удаляемые из ЦКТ, резервируются в танке 1 (рис. 5), откуда при помощи питающего насоса 2 вводятся в гидравлическую систему мембранной установки 4 с мембранами на основе керамики с пористостью в диапазоне от 0,4 до 0,9 мкм по задерживаемым частицам. Индивидуальный циркуляционный насос 3 позволяет обеспечить высокую скорость циркуляции избыточных дрожжей вдоль поверхности мембраны и увеличить продолжительность между регенерациями до 30-50 ч. Процесс рекуперации осуществляется при температуре не выше 4 °С, обеспечиваемой при помощи теплообменника-охладителя 5 [1, 8, 9].

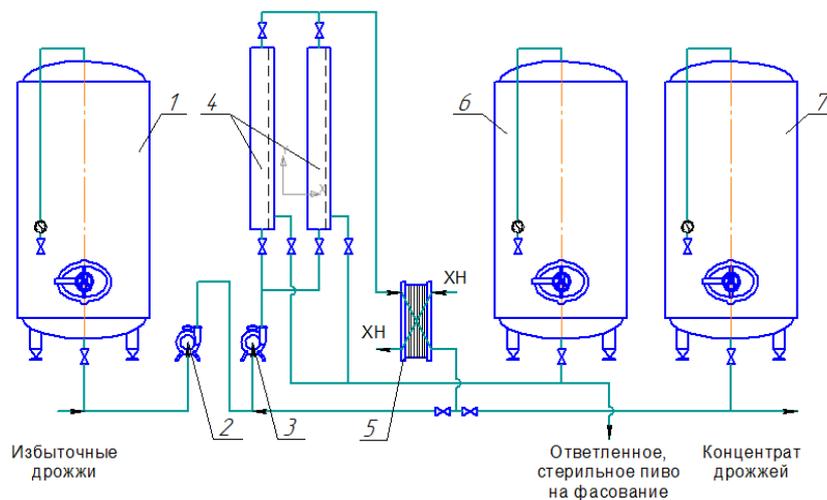


Рисунок 5. Машинно-аппаратурная схема линии по извлечению товарного пива из лагерных осадков с использованием мембранных модулей трубчатого типа:

- 1 – танк с избыточными дрожжами; 2 – питающий насос; 3 – циркуляционный насос;
- 4 – трубчатый мембранным модуль; 5 – теплообменник-охладитель;
- 6 – танк с рекуперированным пивом; 7 – танк с концентрированными дрожжами;
- ХН – хладоноситель

Извлечение товарного пива из лагерных осадков направлено, прежде всего, на получение дополнительных объемов качественного пива, снижение технологических потерь по жидкой фазе, а также получение ценного вторичного материального ресурса – пивных дрожжей, используемых на кормовые или медицинские цели.

Причина, по которой данный способ широко не используется на пивоваренных заводах, связана с обеспечением стабильного микробиологического состояния рекуперированного пива, возвращаемого в основной продукт, в связи с этим некоторые производители дополнительно используют пастеризатор для обеспечения гарантированного качества напитка при хранении [1, 4, 6, 8, 9].

Целью исследования являлось выяснение практической применимости процесса микрофльтрации пива при тупиковом и проточном режимах его организации, а также исследование физико-химических, микробиологических и органолептических показателей, влияющих на окончательный выбор разрешающей способности полимерных мембран.

Материалы и методы исследований

Экспериментальные исследования мембранной фильтрации пива при тупиковой и проточной схеме организации процесса проводились в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (1999 – 2023 гг.) и в ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (наст. время).

При выполнении настоящей работы использовались общепринятые для пивоваренной отрасли методы анализа: ГОСТ 12786 – 80 «Пиво. Правила приемки и методы отбора проб», ГОСТ 12787 – 81 «Пиво. Методы определения спирта, действительного экстракта и расчет сухих веществ в начальном сусле», ГОСТ 12788 – 87 «Пиво. Методы определения кислотности», ГОСТ 12789 – 87 «Пиво. Методы определения цвета», ГОСТ 30060 – 93 «Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции», ГОСТ 30518 – 97 / ГОСТ Р 50474 – 93 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерии), ГОСТ 30519 – 97 / ГОСТ Р 50480 – 93 Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. ГОСТ Р 51154 – 98 «Пиво. Методы определения двуокси углерода и стойкости».

Специальные методики были основаны на подготовке мембранной техники (экспериментальных модулей и полимерных мембран) к проведению процессов тупиковой и тангенциальной микрофильтрации пива.

Результаты исследований и их обсуждение

Мембранное осветление пива тупиковой микрофильтрацией осуществляли в плоско-рамном мембранном модуле круглого сечения с полимерной мембраной диаметром 293 мм. Модуль был оборудован дисковой мешалкой с лопастями. Осветление пива осуществляли сразу же после окончания процессов главного брожения и созревания напитка при температуре не выше 4 °С, ввиду использования полимерных мембран применяли величины давления, не превышающие более 0,1 МПа.

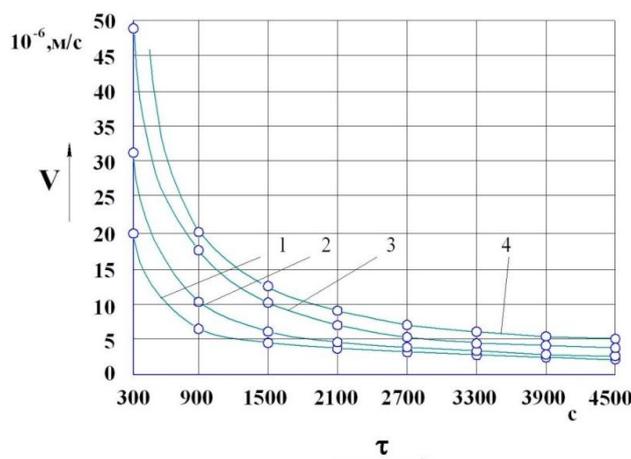


Рисунок 6. График функции производительности процесса мембранного осветления от его продолжительности при различной пористости мембран при тупиковом режиме: 1 – 0,70; 2 – 0,80; 3 – 0,90; 4 – 0,95 мкм

Для данных условий эксперимента в начальный момент времени наблюдали максимальную производительность мембраны с максимальной пористостью, составляющей более $60 \cdot 10^{-6}$ м/с (см. рис. 6). Ввиду организации мембранного осветления по тупиковой схеме наблюдалось резкое снижение производительности, составившей через 40 мин фильтрации менее $8 \cdot 10^{-6}$ м/с. Для сохранения проницаемости мембраны и обеспечения дальнейшей удовлетворительной производительности за счет воздействия дисковой мешалки с лопастями на примембранный слой применяли различные частоты вращения перемешивающего устройства для разрушения сил сцепления осадка с фильтрующей поверхностью [1, 12].

Мембранное осветление пива проточной микрофильтрацией осуществляли в плоско-рамном мембранном модуле прямоугольного сечения с несколькими полимерными мембранами. Модуль был оборудован набором уплотнительных прокладок для создания мембранного канала разной высоты. Как и в случае с тупиковой микрофильтрацией, осветление пива осуществляли при аналогичных условиях, за исключением скорости разделяемого продукта вдоль поверхности мембраны, составляющей 2 м/с. Как и следовало ожидать при проточной микрофильтрации, наблюдали более стабильные результаты по производительности мембран через 30-40 мин, составившие около $40 \cdot 10^{-6}$ м/с для фильтрующей перегородки с максимальной пористостью 0,95 мкм и $25 \cdot 10^{-6}$ м/с для фильтрующей перегородки с минимальной пористостью 0,70 мкм (рис. 7).

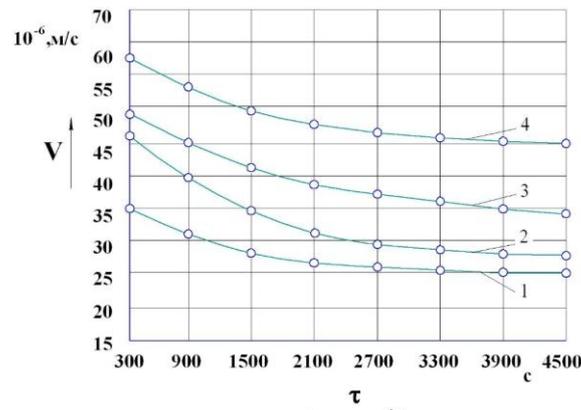


Рисунок 7. График функции производительности процесса мембранного осветления от его производительности при различной пористости мембран при проточном режиме: 1 – 0,70; 2 – 0,80; 3 – 0,90; 4 – 0,95 мкм

Движение разделяемой жидкости вдоль фильтрующей поверхности позволяло воздействовать на примембранную область за счет касательных напряжений, затрудняющих образование прочных сил сцепления разделяемых компонентов с мембраной, что и обеспечивало ее более стабильную производительность по осветленному продукту [1].

Наибольший практический интерес представляло изучение влияния скорости разделяемой жидкости на производительность фильтрующей перегородки в условиях образования канала различной высоты. Полученные результаты производительности для мембраны с максимальной пористостью 0,95 мкм составляли более $50 \cdot 10^{-6}$ м/с для высоты канала 0,5 мм (рис. 8).

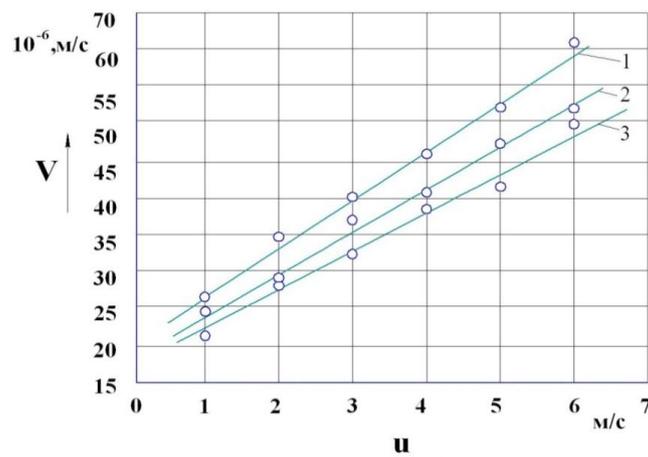


Рисунок 8. График функции производительности процесса мембранного осветления от скорости разделяемой жидкости при различной высоте канала: 1 – 0,5; 2 – 1,5; 3 – 2,7 мм.

Следует сказать о возникающем технологическом противоречии, состоящем, с одной стороны, в улучшении гидродинамических условий в примембранной области за счет удаления значительной части отложений с фильтрующей поверхности с увеличением скорости и, с другой стороны, увеличением объема циркулирующего продукта, возвращаемого в циркуляционный контур, что негативно отражалось на показателях качества осветленного продукта. Исходя из вышесказанного, можно полагать, что скорость разделяемой жидкости при проточном режиме в диапазоне 2-3 м/с для данной конструкции мембранного модуля позволит обеспечить стабильные параметры, процессы осветления и качество конечного продукта.

Таблица 1. Сравнительная оценка физико-химических показателей образцов пива, полученных по классической и мембранной технологии

Наименование	Показатели				
	контрольный образец	образец № 1		образец № 2	
		до мембранной фильтрации	после мембранной фильтрации	до мембранной фильтрации	после мембранной фильтрации
Экстрактивность начального сусла, %	11,0	11,0	11,2	11,1	11,1
Объемная доля спирта, % об., не менее	4,0	4,2	4,2	4,3	4,3
Кислотность, к. ед.	1,6...2,8	2,4	2,3	2,6	2,5
Цвет, см ³ р-ра йода	0,6...2,0	1,2	1,0	1,3	1,1
Биологическая стойкость, сут.	3	3	9	3	11

При выборе мембранного осветления в качестве решающего процесса в обеспечении требуемой биологической и коллоидной стойкости также осуществляли исследование физико-химических показателей образцов пива №№ 1 и 2 (табл. 1). Образец № 1 – нефильтованное, непастеризованное пиво с содержанием экстрактивных веществ 11,0 %, отобранное из сервисного танка после окончания процессов брожения и созревания пива при температуре 2-4 °С; образец № 2 – нефильтованное, непастеризованное пиво с содержанием экстрактивных веществ 11,1 %, отобранное из другого сервисного танка после окончания процессов брожения и созревания при аналогичной температуре; контрольный образец – фильтрованное, пастеризованное пиво с содержанием экстрактивных веществ 11,0 %, отобранное из сервисного танка при температуре 2-4 °С непосредственно перед его фасованием.

Таблица 2. Сравнительная оценка органолептических показателей образцов пива, полученных по классической и мембранной технологии

Наименование	Наименование 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
контрольный образец	2,9	3,0	3,8	3,7	3,8	3,7	20,9
образец № 1	2,9	3,0	3,8	3,7	3,1	3,1	19,6
образец № 2	3,0	3,0	4,0	3,7	3,9	3,7	21,2

Следует отметить увеличение биологической стойкости образцов пива №№ 1 и 2, осветленных на мембране с пористостью 0,90 мкм, составившей 9 и 11 сут. При этом другие

физико-химические показатели осветленных образцов пива остались неизменными, что говорило о правильности выбора пористости мембраны. Вполне очевидно, что мембрана с меньшей пористостью обеспечит и большую биологическую стойкость, но вопрос стабильности физико-химических показателей осветленного пива, вследствие задержки мембраной компонентов, отвечающих за вкус и аромат, всегда будет оставаться открытым [1].

Органолептическая оценка образцов пива № 1 и 2, осветленных на мембране с пористостью 0,90 мкм (табл. 2), позволила судить о полном соответствии вкусо-ароматических свойств контрольному образцу, произведенному по классической технологии с использованием намывного фильтрования и пастеризации [1, 2].

Существенное внимание придавали микробиологической оценке образцов пива, осветленных на мембране с пористостью 0,90 мкм (табл. 3). Было выяснено наличие дрожжевых клеток, спор бактерий и палочковидных микроорганизмов, что и обуславливало, в конечном итоге, невысокую биологическую стойкость [1].

Таблица 3. Сравнительная оценка микробиологических показателей образцов пива, полученных по классической и мембранной технологии

Наименование	Количество бактериальных клеток, ед./мл					
	1 день	3 день	4 день	1 день	3 день	4 день
контрольный образец	$1,7 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$3,0 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$
образец № 1	$6,0 \times 10$	$7,5 \times 10$	$9,0 \times 10$	$5,8 \times 10$	$7,0 \times 10$	$8,5 \times 10$
образец № 2	$1,0 \times 10^2$	$4,5 \times 10^2$	$5,0 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^2$

В зависимости от предъявляемых к срокам хранения пива требований могут потребоваться мембраны с гораздо меньшей пористостью, например, 0,4 мкм, которые в значительной степени позволяют снизить или полностью исключить наличие микрофлоры, обеспечив при этом максимальную биологическую стойкость до 90 сут. В этом случае потребуются дополнительные условия по обеспечению микробиологической стерильности осветленного пива на участке от мембранной установки до моноблока розлива, в противном случае все преимущества мембранной фильтрации могут свестись к нулю. Также становится нерациональным решением установка пастеризационной установки после мембранного осветления ввиду резко увеличивающихся капитальных и эксплуатационных затрат [1].

Выводы

1. Микрофильтрация пива сохраняет первоначальные, естественные характеристики пива, приостанавливает изменения его вкуса, как например это происходит при тепловой обработке, обеспечивает необходимую биологическую и коллоидную стойкость.

2. Учитывая, что нефильтованное пиво является многокомпонентной гетерогенной системой, трудно бывает подобрать универсальную мембранную установку, позволяющую решать одновременно все задачи по обеспечению биологической и коллоидной стойкости напитка. Как правило, конечный вариант технологии осветления пива будет состоять из некоторого симбиоза классических и мембранных процессов, в сильной степени зависящих друг от друга и влияющих на взаимную эффективность.

3. Адаптация процесса микрофильтрации к технологическим процессам фильтрования пива будет напрямую зависеть от разрешения противоречий между кратностью рециркуляции пива и его качеством; обеспечения микробиологической стабильности получаемого продукта в процессе хранения; правильного подобранного алгоритма регенерации, мойки и дезинфекции мембран и установки; нахождения компромисса между стоимостью технологии и оборудования для микрофильтрации.

Список источников

1. Антипов С.Т., Ключников А. И. Интенсификация процессов переработки жидких пищевых сред мембранными методами: монография // Воронеж. гос. ун-т инж. технол. Воронеж: ВГУИТ, 2017. 304 с.
2. Ключников А.И., Полянский К.К., Ключникова Д. В. Комплексная оценка показателей качества пива, получаемого микрофльтрацией с использованием керамических мембран // Сорбционные и хроматографические процессы. Т. 21. № 5. 2021 С. 764-773.
3. Кудряшов В.Л. Роль и эффективность мембранных процессов при модернизации пищевой промышленности // Пищевая промышленность. 2012. № 10. С. 14-16.
4. Кудряшов В.Л., Кислов А.С., Преснякова О.П. Комплексная линия переработки вторичного сырья пивзаводов на основе мембранных процессов // Пиво и напитки. 2008. № 2. С. 22-25.
5. Лукин Н.Д., Кудряшов В. Л. Области применения, эффективность и перспективы использования баромембранных процессов в АПК // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. №12. С. 44-50.
6. Стогний А.Н., Рябиков В.Е. Способы восстановления пива из донных осадков // Пиво и напитки. 2007. № 4. С. 20-22.
7. Bernardi G.d.S., Magro J.D., Mazutti M.A., Oliveira J.V., Luccio M.Di, Zabot G.L., Tres M.V. Microfiltration for Filtration and Pasteurization of Beers // Engineering Tools in the Beverage Industry. Vol. 3: The Science of Beverages. 2019. Pp. 405-434.
8. Cimini A., Francesco G.D., Perretti G. Effect of crossflow microfiltration on the clarification and stability of beer from 100% low- β -glucan barley or malt // LWT. Vol. 86. December, 2017. Pp. 55-61.
9. Gan Q. Beer clarification by cross-flow microfiltration – effect of surface hydrodynamics and reversed membrane morphology // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. Vol. 40. Issue 5. September, 2001. Pp. 413-419.
10. Gan Q., Howell J.A., Field R.W., England R., Bird M.R., Shaughnessy C.L.O', MeKechinie M. T. Beer clarification by microfiltration – product quality control and fractionation of particles and macromolecules // Journal of Membrane Science. Vol. 194. Issue 2. 15 December, 2001. Pp. 185-196.
11. Peyravi M., Jahanshahi M., Banafti S. Application of Membrane Technology in Beverage Production and Safety // Safety Issues in Beverage Production. Vol. 18: the Science of Beverages. 2020. Pp. 271-308.
12. Zhang Y.P., Fane A.G., Law A.W.K. Critical flux and particle deposition of bidisperse suspensions during crossflow microfiltration // Journal of Membrane Science Vol. 282. Issues 1-2. 5 October, 2006. Pp. 189-197.

References

1. Antipov S.T., Klyuchnikov A.I. Intensification of processes of processing liquid food media using membrane methods: monograph. Voronezh. state University of Eng. technol. Voronezh: VSUET Publ., 2017. 304 p.
2. Klyuchnikov A.I., Polyansky K.K., Klyuchnikova D.V. Comprehensive assessment of the quality indicators of beer obtained by microfiltration using ceramic membranes. Sorption and chromatographic processes, vol. 21, no. 5, 2021, pp. 764-773.
3. Kudryashov V.L. The role and efficiency of membrane processes in the modernization of the food industry. Food Industry, 2012, no. 10, pp. 14-16.
4. Kudryashov V.L., Kislov A.S., Presnyakova O.P. Integrated line for processing secondary raw materials of breweries based on membrane processes. Beer and drinks, 2008, no. 2. pp. 22-25.
5. Lukin N.D., Kudryashov V.L. Areas of application, efficiency and prospects for the use of baromembrane processes in the agricultural sector. Storage and processing of agricultural raw materials, 2017, no. 12, pp. 44-50.

6. Stogniy A.N., Ryabikov V.E. Methods for restoring beer from bottom sediments. Beer and drinks, 2007, no. 4, pp. 20-22.
7. Bernardi G.d.S., Magro J.D., Mazutti M.A., Oliveira J.V., Luccio M.Di, Zobot G.L., Tres M.V. Microfiltration for Filtration and Pasteurization of Beers. Engineering Tools in the Beverage Industry, vol. 3: The Science of Beverages, 2019, pp. 405-434.
8. Cimini A., Francesco G. D., Perretti G. Effect of crossflow microfiltration on the clarification and stability of beer from 100% low- β -glucan barley or malt. LWT, vol. 86, december, 2017, pp. 55-61.
9. Gan Q. Beer clarification by cross-flow microfiltration – effect of surface hydrodynamics and reversed membrane morphology. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, vol. 40, issue 5, september, 2001, pp. 413-419.
10. Gan Q., Howell J.A., Field R.W., England R., Bird M.R., Shaughnessy C.L.O', MeKechinie M.T. Beer clarification by microfiltration – product quality control and fractionation of particles and macromolecules. Journal of Membrane Science, vol. 194, issue 2, 15, december, 2001, pp. 185-196.
11. Peyravi M., Jahanshahi M., Banafti S. Application of Membrane Technology in Beverage Production and Safety. Safety Issues in Beverage Production, vol. 18: the Science of Beverages, 2020, pp. 271-308.
12. Zhang Y.P., Fane A.G., Law A.W.K. Critical flux and particle deposition of bidisperse suspensions during crossflow microfiltration. Journal of Membrane Science, vol. 282, issues 1-2, 5 october, 2006, pp. 189-197.

Информация об авторах

А.И. Ключников – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г. Г. Агабальянца;

Д.А. Казарцев – доктор технических наук, доцент, профессор, заведующий кафедрой технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г. Г. Агабальянца;

С.В. Жуковская – кандидат химических наук, доцент кафедры технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г. Г. Агабальянца;

М.В. Бабаева – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г. Г. Агабальянца;

Д.В. Ключникова – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов животного происхождения.

Information about the authors

A.I. Klyuchnikov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Winemaking Technology, Fermentation and Chemistry named after. G. G. Agabalyants;

D.A. Kazartsev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Head of the Department of Winemaking Technology, Fermentation and Chemistry named after. G. G. Agabalyants;

S.V. Zhukovskaya – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Winemaking, Fermentation and Chemistry. G. G. Agabalyants;

M.V. Babayeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Winemaking, Fermentation and Chemistry. G. G. Agabalyants;

D.V. Klyuchnikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Animal Products.