

УДК 664.959.9

**Разработка малоотходной технологии концентрирования вторичных сырьевых ресурсов рыбоперерабатывающих предприятий способом ультрафильтрации с использованием керамических мембран***Н. П. Боева, А. И. Бочкарев, О. В. Бредихина*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва)

Представлены данные об общем объёме выпуска кормовой рыбной муки в Российской Федерации. Показана целесообразность дальнейшего развития технологий переработки подпрессовых бульонов. Описаны существующие технические решения в данной области и обоснована целесообразность применения методов мембранной фильтрации для их переработки. Показаны преимущества баромембранных технологий на современном уровне их развития. Обосновано использование керамических мембран при обработке подпрессовых бульонов способом ультрафильтрации. Описана пилотная мембранная установка для разделения подпрессовых бульонов, укомплектованная керамическими мембранами CeRAM INSIDE®. Описаны технологические эксперименты по подбору рационального мембранного элемента для концентрирования рыбных подпрессовых бульонов и по отработке режима их концентрирования на выбранной мембране. Установлено, что мембранная техника, оснащённая керамическими мембранами CeRAM INSIDE® с величиной отсечки 300 кДа, может быть использована для концентрирования рыбных подпрессовых бульонов методом ультрафильтрации. Определены рациональные параметры концентрирования рыбных подпрессовых бульонов на выбранной мембране: скорость потока жидкости — 5 м/с, температура бульона — 80–85 °С, продолжительность рабочего цикла концентрирования — 4,7 часа; начальное трансмембранное давление — 0,05 МПа, конечное — 0,25 МПа. Получены образцы влажного белково-липидного концентрата рыбного подпрессового бульона. Установлено, что в его химический состав входит 75,6% влаги, 20,5% белковых соединений и 2% жира. Установлено, что его белок обладает высокой кормовой ценностью, так как содержит повышенное количество неразрушенного белка. Исследованиями установлено, что полученный концентрат может быть в дальнейшем использован для получения кормовых продуктов.

**Ключевые слова:** кормовая рыбная мука, подпрессовый бульон, баромембранное разделение, ультрафильтрация, трансмембранное давление, керамические мембраны, белково-липидный концентрат.

**ВВЕДЕНИЕ**

Решение задачи по увеличению объемов выпуска кормовых продуктов из водных биологических ресурсов определено Концепцией развития рыбного хозяйства Российской Федерации

на период до 2020 г. и рядом других документов. Перспективным направлением в создании кормовой продукции является разработка и освоение технологий производства кормов с заранее заданными свойствами, являющихся поли-

компонентными смесями, более рациональная переработка сырья, внедрение в производственный процесс современных технических достижений, а также создание малоотходных и безотходных технологий [Боева и др., 2004].

Одним из традиционных видов кормовой продукции из водных биологических ресурсов является кормовая рыбная мука. В качестве сырья для ее производства используют рыбу или рыбные отходы содержанием белка до 16% и жира не более 8% от массы сырья. При производстве кормовой муки по прессово-сушильной и центрифужно-сушильной схемам в качестве побочного продукта образуется рыбный подпрессовый бульон, выход которого значителен и составляет 40–50% от массы исходного сырья. При производстве кормовой рыбной муки в Российской Федерации в объёме около 80 тыс. т в год недоиспользование подпрессовых бульонов приводит к потере около 12 тыс. т ценного в кормовом отношении животного белка, являющегося дефицитным на отечественном рынке кормовых продуктов.

Задача переработки подпрессовых рыбных бульонов, образующихся при производстве кормовой рыбной муки, с целью повышения эффективности использования водных биологических ресурсов в течение ряда лет решалась как отечественными, так и зарубежными учёными. Наиболее известная промышленная технология переработки осветлённой и обезжиренной части бульонов, которая остаётся после их очистки, основана на применении вакуумного выпаривания. Однако её применение экономически оправдано лишь в том случае, если мощность предприятий — производителей кормовой муки составляет более 70 т/сут по сырию. В настоящее время в связи с небольшими объёмами перерабатываемого сырья упаривание бульонов практически не применяется [Боева и др., 2008; Калантарова, Рогова, 1960].

В настоящее время в рыбной отрасли имеется необходимость разработки малоэнергоёмкой и малоотходной технологии переработки рыбного подпрессового бульона, пригодной для использования на малых предприятиях по производству кормовой рыбной муки. Наиболее перспективным технологическим решением в данном случае является создание оборудова-

ния на основе баромембранного метода (ультрафильтрации) с использованием современных неорганических мембранных элементов, изготовленных из керамики.

Для процессов баромембранного разделения, в частности для ультрафильтрации, характерен ряд преимуществ, благодаря чему на настоящий момент они получили распространение в пищевой промышленности. Среди них, в первую очередь, следует отметить возможность обработки сырья при температуре окружающей среды. Это позволяет перерабатывать термолабильные белково-липидные растворы, избегая нежелательной деструкции белковых веществ, и сохранить пищевую (кормовую) и биологическую ценность исходного сырья. Фильтрация при температурах, близких к 80 °С, позволяет снизить вязкость термоустойчивых растворов и улучшить рабочие характеристики процесса. При получении продуктов мембранными методами отсутствует потребность в использовании химических реагентов, в частности кислот и щелочей, изменяющих рН растворов и вызывающих коагуляцию белков. Процесс ультрафильтрации проводится в замкнутом контуре в установках различной конструкции, что позволяет использовать его для выработки продукции пищевого и медицинского назначения [Мулдер, 1999].

Замена упаривания процессами баромембранного разделения позволяет повысить рентабельность производства за счёт снижения расхода электроэнергии и греющего пара. Например, при концентрировании подсырной сыворотки обратным осмосом они сокращаются в 2,92, а при концентрировании желатина ультрафильтрацией — в 2,76 раза по сравнению с упариванием. Применение баромембранных процессов для переработки послеспиртовой барды позволяет снизить энергетические затраты в 3,5 раза [Cheryan, 2001].

Существенными преимуществами современных неорганических мембран является их устойчивость к воздействию высоких (до 150–200 °С) температур, устойчивость к воздействию агрессивных кислотных и щелочных сред, длительный (около 10 лет) срок службы. Для технологических процессов наиболее важным параметром является высокая удельная производительность мембран по

фильтрату, а также незначительные габариты мембранных установок. Указанные выше преимущества в совокупности позволяют организовать полностью непрерывный технологический цикл переработки подпрессовых бульонов, при этом избегая нежелательных задержек сырья, и получить продукт, обладающий высокими качественными показателями, востребованный при производстве комбикормов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Во ФГУП «ВНИРО» были проведены экспериментальные исследования по концентрированию рыбного подпрессового бульона на пилотной мембранной установке, изготовленной ООО «Фильтропор Групп». Её принципиальная схема представлена на рисунке 1.

В состав установки входят расходная ёмкость (6), предназначенная для приготовления обрабатываемых сред, винтовой насос (14), предназначенный для создания скоростно-

го потока жидкости в продуктивном контуре. Мембраны, используемые для разделения растворов, монтируются в мембранных модулях (4, 5, 16, 17). Необходимая температура жидкости в процессе фильтрации поддерживается при помощи водяной рубашки расходной ёмкости, подогрев теплоносителя осуществляется термоэлектронагревателями. Для охлаждения рабочего раствора предусмотрена возможность подачи холодной воды в теплообменник продуктового контура. Управление и контроль температурой производится при помощи измерителя-регулятора, к которому подключена термопара (1), установленная в расходной ёмкости. Рабочее давление на входе и выходе мембранного модуля контролируется по показаниям манометров (3 и 15 соответственно), в фильтратной линии — по показаниям манометров (7, 8, 18, 19) и регулируется вентилями (10, 11, 20 и 21). Производительность мембран по фильтрату определяется по пока-

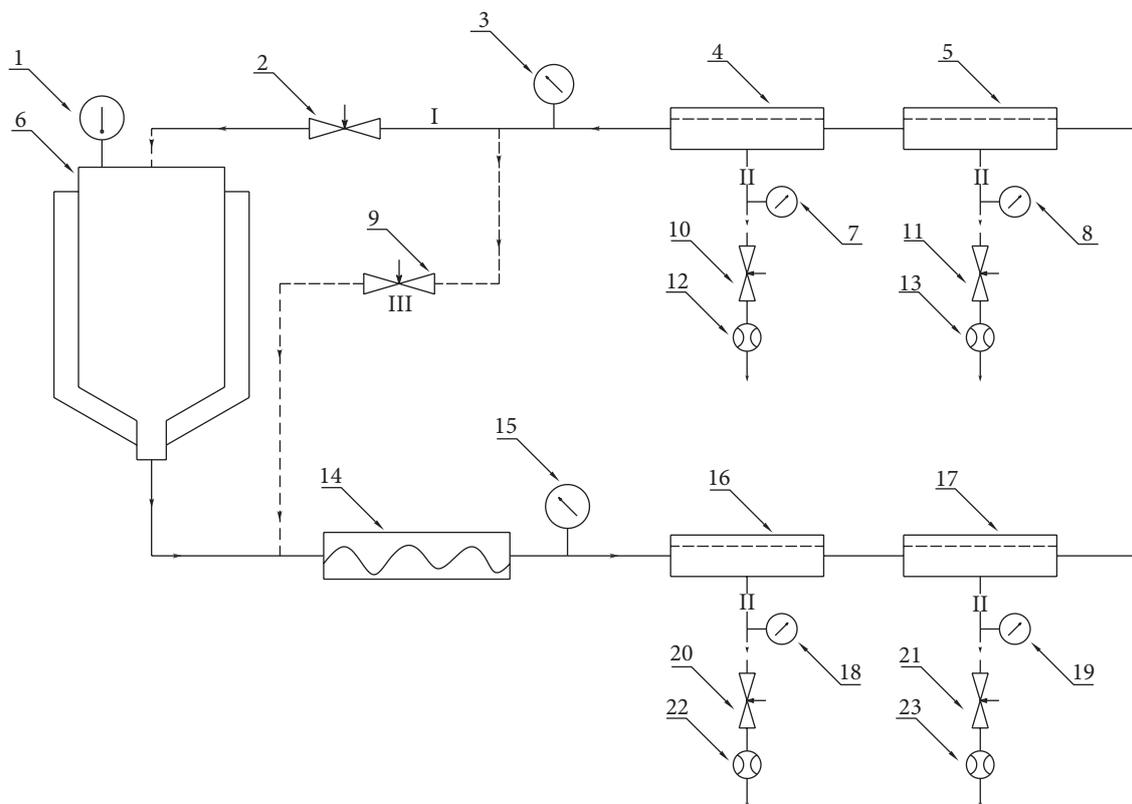


Рис. 1. Принципиальная схема пилотной мембранной установки:

1, 3, 7, 8, 15, 18, 19 — манометр; 2, 9–11, 20, 21 — вентиль регулировочный; 4, 5, 16, 17 — модуль мембранный; 6 — ёмкость; 12, 13, 22, 23 — ротаметр; 14 — насос винтовой; I — продуктивный контур; II — фильтратная линия; III — бай-пас

заниям предварительно оттарированных ротаметров (12, 13, 22, 23).

В мембранных модулях установки были использованы импортные керамические мембраны CeRAM INSIDE® (CI) с величинами отсечки 300 и 50 кДа, а также отечественные элементы марки КУФЭ с отсечкой 67 кДа.

В качестве сырья был использован предварительно осветлённый и обезжиренный подпрессовый бульон, полученный при переработке мороженой кильки каспийской на кормовую муку. По органолептическим показателям он представлял собой однородную непрозрачную жидкость светло-коричневого цвета, имеющую специфический рыбный запах. Все экспериментальные исследования проводили в рациональном температурном диапазоне (75–80 °С) при скорости потока жидкости (бульона) 5 м/с и давлении на входе в мембранный модуль, равном 0,3 МПа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований по концентрированию подпрессового бульона были получены образцы влажных белково-липидных концентратов и фильтратов. По органолептическим показателям концентраты представляли собой непрозрачные однородные жидкости с цветом и запахом,

идентичными исходному сырью, но имеющие вязкость 6,30–7,15 Па, в среднем в 6 раз большую, чем у бульона. Фильтраты представляли собой прозрачные жидкости, имеющие светло-жёлтый оттенок и схожий с подпрессовыми бульонами запах, но обладающие меньшей вязкостью. Зависимости удельной производительности различных мембран по фильтрату от продолжительности концентрирования представлены на рисунке 2.

Анализируя представленные данные, следует отметить существенные различия в величинах удельной производительности между мембраной КУФЭ и мембранами CeRAM INSIDE®.

Рабочие характеристики процесса концентрирования рыбных подпрессовых бульонов на мембранах CeRAM INSIDE® представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, при одинаковом выходе концентрата, полученного на обеих мембранах, и незначительном отличии в их селективности по компонентам химического состава, средняя удельная производительность мембраны с отсечкой 300 кДа в 1,52 раза больше, чем у мембраны с отсечкой 50 кДа. Таким образом, основываясь на полученных результатах, можно заключить, что концентрирование подпрессового бульона целесообразно

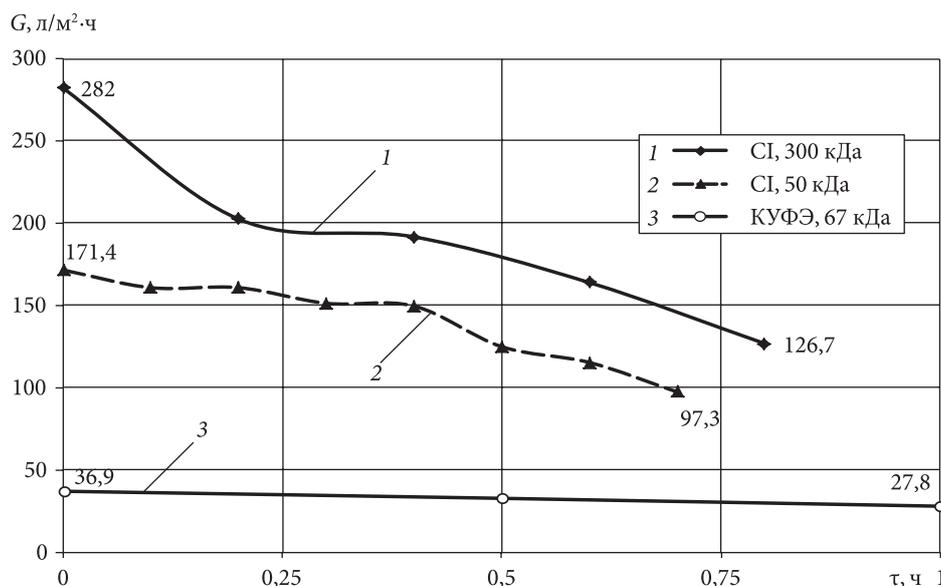


Рис. 2. Изменение удельной производительности от продолжительности концентрирования для различных мембран (CI - сокращение от CeRAM INSIDE®)

**Таблица 1.** Рабочие характеристики процесса концентрирования рыбных подпрессовых бульонов, полученные при использовании мембран CeRAM INSIDE®

Мембрана, отсечка, кДа	Селективность, %				Выход концентрата, %	Средняя производительность, л/м <sup>2</sup> ч
	Сухие вещества	Общий азот	Белковые вещества	Жир		
CI, 300	39	32	48	100	20	186,8
CI, 50	42	36	55	100	20	122,3

осуществлять на мембране CeRAM INSIDE® с отсечкой 300 кДа вследствие её большей удельной производительности по фильтрату.

Далее был изучен общий химический состав бульона, концентратов и фильтратов, полученных при концентрировании на мембранах CeRAM INSIDE®. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Из представленных в таблице 2 данных следует, что содержание всех компонентов химического состава в исследованных объектах, независимо от применяемой мембраны, практически одинаково, что объясняется рядом причин. Сходное содержание в концентратах липидов и их отсутствие в фильтратах является следствием одинакового выхода концентрата и 100%-й селективности мембран по липидам. Содержащиеся в бульоне минеральные соединения в процессе ультрафильтрации не концентрируются мембранами и переходят в фильтраты, поэтому их процентное содержание во всех образцах также одинаково. Различия в процентном содержании азотистых соединений в объектах исследования составляют менее 1%, что объясняется незначительными изменениями в селективности сравниваемых мембран по азотистым соединениям. Химический со-

став фильтратов представлен содержащимися в подпрессовом бульоне компонентами: минеральными веществами и азотистыми соединениями, но в меньших по сравнению с сырьем количествах.

Сопоставляя данные таблиц 1 и 2, можно заключить, что концентрирование рыбных подпрессовых бульонов целесообразно осуществлять на мембране CeRAM INSIDE® с величиной отсечки 300 кДа. Химический состав полученного при её использовании концентрата практически идентичен составу концентрата, полученного на мембране с отсечкой 50 кДа, однако её производительность более чем в 1,5 раза выше.

В подпрессовом бульоне и полученных в результате его концентрирования концентратах и фильтратах был изучен фракционный состав азотистых веществ. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Как видно из представленных данных, фракционный состав азотистых веществ подпрессового бульона представлен в основном небелковой фракцией. В концентратах, полученных на мембранах CeRAM INSIDE® с величинами отсечки 300 и 50 кДа, по сравнению с бульоном процентное содержание белково-

**Таблица 2.** Показатели химического состава бульонов, концентратов и фильтратов, полученных на мембранах CeRAM INSIDE®

Мембрана, отсечка, кДа	Объект исследования	Содержание, %				
		Сухих веществ	Влаги	Азотистых веществ	Жира	Минеральных веществ
—	Бульон	7,9±0,3	92,1±0,3	4,3±0,2	1,4±0,1	0,8±0,05
CI, 300	Концентрат	20,1±0,6	79,9±0,6	11,3±0,3	7,2±0,2	0,9±0,05
	Фильтрат	4,8±0,2	95,2±0,2	2,9±0,1	0,0	0,8±0,05
CI, 50	Концентрат	21,0±0,5	79,0±0,5	12,0±0,3	7,2±0,2	0,9±0,05
	Фильтрат	4,6±0,2	95,4±0,2	2,7±0,1	0,0	0,8±0,05

го азота возрастает, соответственно, на 1,4 и 2,7%. Это является следствием большей селективностью мембран по белковому азоту по сравнению с общим. В свою очередь, данная закономерность объясняется тем, что молекулы белка имеют большие линейные размеры и поэтому задерживаются лучше, чем полипептиды и аминокислоты. В концентрате, полученном на мембране с отсечкой 50 кДа, отмечается несколько большее содержание белкового азота, однако это компенсируется более высокой удельной производительностью мембраны с отсечкой 300 кДа по фильтрату.

С уменьшением отсечки мембран в фильтрациях по сравнению с бульоном количество белкового азота уменьшается, соответственно, на 1,57 и 3,14%, поэтому содержание в них небелкового азота, наоборот, возрастает.

На основании данных по изменению удельной производительности мембран в процессе концентрирования, их характеристик, а также данных химического и фракционного составов сырья и продуктов установлено, что концентрирование подпрессового бульона целесообразно проводить на мембране CeRAM INSIDE®

с отсечкой 300 кДа, так как её средняя удельная производительность в 1,5 раза больше производительности мембраны с отсечкой 50 кДа при сходном химическом составе и одинаковом выходе концентратов.

В ходе дальнейших исследований на выбранной мембране был отработан режим концентрирования рыбных подпрессовых бульонов. Полученные экспериментальные данные по изменению удельной производительности мембраны в процессе концентрирования представлены на рисунке 3, рабочие характеристики процесса — в таблице 4.

Из представленных на рисунке 3 данных (кривые 3, 4) видно, что за 40 минут концентрирования при постоянном рабочем давлении происходит существенное снижение начальной удельной производительности мембран по фильтрату: при давлении 0,3 МПа она снижается в 6,1 раза и достигает 13,4 л/м<sup>2</sup>·ч, а при давлении 0,4 МПа — в 6,4 раза до величины 12,2 л/м<sup>2</sup>·ч. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при режиме фильтрации с постоянным давлением мембраны подвержены интенсивному засорению. Это объясняется

**Таблица 3.** Фракционный состав азотистых веществ бульонов, концентратов и фильтратов, полученных на различных мембранах

Мембрана, отсечка, кДа	Объект исследования	Общий азот, мг %	Белковый азот, мг %	Небелковый азот, мг %
—	Бульон	0,69/100	0,09/12,44	0,60/87,56
CI, 300	Концентрат	1,81/100	0,25/13,81	1,56/86,19
	Фильтрат	0,46/100	0,05/10,87	0,41/89,13
CI, 50	Концентрат	1,92/100	0,29/15,10	1,63/84,90
	Фильтрат	0,43/100	0,04/9,30	0,39/90,70

**Таблица 4.** Рабочие характеристики процесса концентрирования подпрессовых бульонов при различных режимах фильтрации

Режим фильтрации	Селективность, %				Выход концентрата, %	Средняя производительность, л/м <sup>2</sup> ·ч/продолжительность, ч
	Сухие вещества	Общий азот	Белковый азот	Жир		
$P_{\text{вх}} = 0,3$ МПа, очистка	22,13	41,41	50,66	100,00	31,39	39,0/5,6
$P_{\text{вх}} = 0,4$ МПа, очистка	37,56	47,44	31,25	100,00	33,12	37,5/5,3
$G = 35$ л/м <sup>2</sup> ·ч, const	47,45	59,51	87,50	100,00	38,46	35,0/5,6
$G = 50$ л/м <sup>2</sup> ·ч, const	57,05	71,91	95,00	100,00	27,69	50,0/4,7
$G = 65$ л/м <sup>2</sup> ·ч, const	54,00	69,40	92,86	100,00	35,38	65,0/3,3

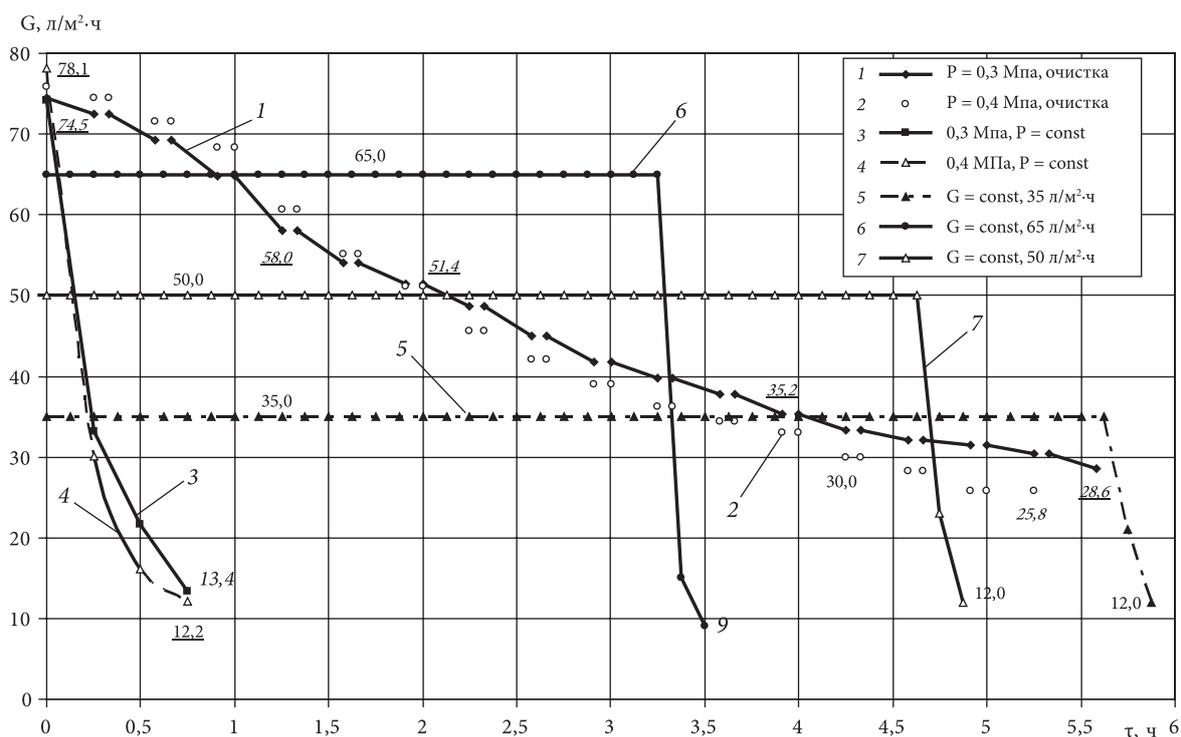


Рис. 3. Изменение удельной производительности мембраны CeRAM INSIDE® при различных режимах фильтрации

тем, что при значительной начальной удельной производительности, равной  $75 \text{ л/м}^2\cdot\text{ч}$  при давлении на входе  $0,3 \text{ МПа}$ , процесс осадкообразования интенсифицируется за счёт дополнительной прижимной силы, оказываемой потоком фильтрата на задерживаемые селективным слоем компоненты исходного бульона [Cheryan, 2001]. В результате этого на мембране образуется слой осадка и её удельная производительность снижается.

Таким образом, можно заключить, что режим концентрирования подпрессовых бульонов при постоянных величинах рабочего давления на входе в мембранный модуль характеризуется малой (не более 40 минут) продолжительностью, а полученные концентраты содержат незначительное количество сухих веществ. Поэтому концентрирование в данном режиме было признано нецелесообразным.

Вследствие неэффективности концентрирования подпрессовых бульонов при постоянном рабочем давлении был предложен метод концентрирования с периодической очисткой мембран от слоя осадка. Из рисунка 3 (кривые 1, 2) видно, что при периодической очист-

ке мембран их удельная производительность равномерно снижается, а продолжительность процесса возрастает до  $5,3\text{--}5,6$  часа. При концентрировании в данном режиме при давлении  $0,3 \text{ МПа}$  через  $5,6$  часа работы конечная удельная производительность мембраны снижается в  $2,7$  раза по сравнению с первоначальной, а её средняя удельная производительность (табл. 4) составляет  $39,0 \text{ л/м}^2\cdot\text{ч}$ .

Таким образом, можно заключить, что периодическая очистка мембран позволяет уменьшить интенсивность их засорения. За счёт этого увеличивается продолжительность процесса концентрирования и количество отобранного фильтрата.

Также необходимо отметить, что постепенное увеличение трансмембранного давления позволяет поддерживать удельную производительность мембраны CeRAM INSIDE® в течение длительного времени. Резкое снижение удельной производительности мембран через  $5,6$ ;  $4,7$  и  $3,3$  часа с начала концентрирования при величинах удельной производительности  $35$ ;  $50$  и  $65 \text{ л/м}^2\cdot\text{ч}$  соответственно вызвано тем, что дальнейшее увеличение рабочего дав-

ления, необходимое для поддержания удельной производительности на заданном уровне, на использованной установке было невозможно. Предложенный режим концентрирования лишен указанных выше недостатков, при удельной производительности мембран 65 и 50 л/м<sup>2</sup>·ч существенно сокращается продолжительность концентрирования. Это позволяет считать предложенный режим перспективным для получения влажных белково-липидных концентратов (БЛК) из рыбных подпрессовых бульонов.

В таблице 5 представлены данные химического состава бульонов, концентратов и фильтратов, полученных при различных режимах фильтрации.

Как видно из представленных данных, в зависимости от режима концентрирования химический состав полученных концентратов также изменяется. В образцах влажного БЛК в зависимости от режима концентрирования различия в содержании сухих веществ составляют 3,5%, а азотистых соединений — 3,8%. Образец БЛК, полученный в режиме концен-

трирования с изменением трансмембранного давления от 0,05 до 0,25 МПа при постоянной удельной производительности 50 л/м<sup>2</sup>·ч, характеризуется максимальным по сравнению с остальными процентным содержанием каждого из компонентов химического состава: в нём присутствует 25,4% сухих веществ, в том числе 20,5% азотистых соединений, что свидетельствует о его наибольшей кормовой ценности.

В процессе концентрирования в фильтрат переходят содержащиеся в подпрессовом бульоне растворённые азотистые соединения и минеральные вещества, но в меньших количествах, вследствие проявляемых мембраной селективных свойств. В образце фильтрата, полученного в режиме концентрирования при постоянной удельной производительности, равной 50 л/м<sup>2</sup>·ч, процентное содержание сухих веществ и азотистых соединений, соответственно, в 2,3 и 3,6 раза меньше, чем в исходном подпрессовом бульоне.

В образцах бульонов, концентратов и фильтратов, полученных при различных режимах

**Таблица 5.** Показатели химического состава бульонов, концентратов и фильтратов, полученных при различных режимах концентрирования

Объект исследования	Содержание, %				
	Влаги	Жиры	Азотистых веществ	Минеральных веществ	Сухих веществ
Бульон	86,18	0,55	8,79	3,12	13,87
	Давление на входе 0,3 МПа, периодическая очистка				
Концентрат	75,48	1,65	18,01	3,14	24,52
Фильтрат	89,20	—	5,15	3,12	10,80
	Давление на входе 0,4 МПа, периодическая очистка				
Концентрат	76,79	1,49	17,98	3,16	23,21
Фильтрат	91,34	—	4,62	3,10	8,66
	Трансмембранное давление 0,04–0,25 МПа, производительность 35 л/м <sup>2</sup> ·ч				
Концентрат	75,55	2,18	16,69	3,15	24,45
Фильтрат	94,43	—	2,69	3,10	5,57
	Трансмембранное давление 0,05–0,25 МПа, производительность 50 л/м <sup>2</sup> ·ч				
Концентрат	74,65	1,72	20,48	3,13	25,35
Фильтрат	94,05	—	2,47	3,10	5,95
	Трансмембранное давление 0,06–0,25 МПа, производительность 65 л/м <sup>2</sup> ·ч				
Концентрат	78,14	1,62	17,42	3,13	21,86
Фильтрат	92,71	—	3,56	3,12	7,29

**Таблица 6.** Фракционный состав азотистых веществ бульонов, концентратов и фильтратов, полученных при различных режимах концентрирования

Объект исследования	Содержание фракций азота, мг %		
	Общий	Белковый	Небелковый
Бульон	1,41/100	0,53/37,59	0,88/62,41
Давление на входе 0,3 МПа, периодическая очистка			
Концентрат	2,88/100	1,06/36,81	1,82/63,19
Фильтрат	0,82/100	0,26/31,71	0,56/68,29
Давление на входе 0,4 МПа, периодическая очистка			
Концентрат	2,88/100	0,49/17,01	2,39/82,99
Фильтрат	0,74/100	0,11/14,86	0,63/85,14
Трансмембранное давление 0,04–0,25 МПа, производительность 35 л/м <sup>2</sup> ·ч			
Концентрат	2,67/100	1,56/58,37	1,11/41,63
Фильтрат	0,40/100	0,02/3,82	0,38/96,18
Трансмембранное давление 0,05–0,25 МПа, производительность 50 л/м <sup>2</sup> ·ч			
Концентрат	3,27/100	2,13/65,12	1,14/34,88
Фильтрат	0,32/100	0,01/3,64	0,31/96,36
Трансмембранное давление 0,06–0,25 МПа, производительность 65 л/м <sup>2</sup> ·ч			
Концентрат	2,79/100	1,66/59,44	1,13/40,56
Фильтрат	0,28/100	0,01/4,31	0,27/95,69

концентрирования, был изучен фракционный состав азотистых веществ. Полученные результаты представлены в таблице 6.

Анализируя представленные данные, следует отметить, что в бульоне процентное содержание небелкового азота составляет 62,41% от общего, что является следствием высокотемпературного воздействия на исходное сырьё (размороженную каспийскую кильку) при производстве кормовой муки, а также его более низкими, по сравнению со свежим сырьём, качественными показателями. В концентратах, по сравнению с бульонами, увеличивается количество белкового азота, что объясняется более высокой, по сравнению с небелковым азотом, селективностью мембраны по данному компоненту.

В образце продукта, полученного в режиме концентрирования с изменением рабочего давления при постоянной удельной производительности, равной 50 л/м<sup>2</sup>·ч, количество белкового азота увеличивается на 27,5%, составляя 65,1% от общего, и максимально по сравнению с остальными концентратами, что свидетельствует о его наибольшей кормовой

ценности. В процессе проведения работ использовался режим концентрирования рыбных подпрессовых бульонов с изменением рабочего давления от 0,05 до 0,25 МПа, в результате чего удельная производительность мембран по фильтрату была постоянной.

Таким образом, в результате проведённых исследований была подобрана мембрана, обеспечивающая высокое качество разделения рыбного подпрессового бульона, для которой определены рациональные параметры процесса производства белково-липидного концентрата.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования позволили произвести подбор мембраны и установить рациональный технологический режим производства концентрата из рыбного подпрессового бульона: температура бульона в продуктовом контуре установки — 80–85 °С; скорость потока бульона — 5 м/с, общая продолжительность процесса концентрирования — 4,7 часа; начальное трансмембранное давление — 0,05 МПа, конечное — 0,25 МПа. Промышленные мембранные установки,

оснащённые керамическими мембранными элементами CeRAM INSIDE® с величиной отсечки 300 кДа, могут быть использованы для концентрирования рыбных подпрессовых бульонов. Указанными установками могут быть дооснащены существующие рыбомучные установки, предназначенные для производства кормовой рыбной муки по прессово-сушильной, либо центрифужно-сушильной схеме.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Боева Н.П., Бредихина О.В., Бочкарев А.И. 2004. Концентрирование рыбных подпрессовых бульонов на металлокерамических мембранах способом ультрафильтрации // Известия КГТУ. № 5. С. 139–145.
- Боева Н.П., Бредихина О.В., Бочкарев А.И. 2008. Технология рыбы и рыбных продуктов. Кормовые и технические продукты из водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 118 с.
- Калантарова И.В., Рогова И.А. 1960. Использование прессовой жидкости в рыбной промышленности. Обзорная информация // Серия «Технология обработки рыбы». М.: Рыбное хозяйство. 19 с.
- Мулдер М. 1999. Введение в мембранную технологию. М.: Мир. 514 с.
- Cheryan M. 2001. Ultrafiltration and microfiltration. Handbook. New-York: New-York Press. 645 p.

#### REFERENCES

- Boeva N.P., Bredikhina O.V., Bochkarev A.I., 2004. Kontsentrirovanie rybnih podpressovyh bul'onov na metallokeramicheskikh membranah sposobom ul'trafil'tratsii [Concentrating of fish press water on metal-ceramic membranes by ultrafiltration method] // Izvestiya KGTU. № 5. S. 139–145.
- Boeva N.P., Bredikhina O.V., Bochkarev A.I. 2008. Tekhnologiya ryby i rybnih produktov. Kormovye i tekhnicheskie produkty iz vodnyh biologicheskikh resursov [Technology of fish and fish products. Feed and technical products from aquatic biological resources]. M.: Izd-vo VNIRO. 118 s.
- Kalantarova I.V., Rogova I.A. 1960. Ispol'zovanie pressovoy zhidkosti v rybnoy promyshlennosti. Obzornaya informatsiya [Using of press water at fishing industry] // Seriya «Tekhnologiya obrabotki ryby» // M.: Rybnoe hozyajstvo. 19 s.
- Mulder M. 1999. Vvedenie v membrannuyu tekhnologiyu [Introduction at membrane technology]. M.: Mir. 514 s.

Поступила в редакцию 29.05.15 г.  
Принята после рецензии 16.06.15 г.

## The development of low-waste technology for concentrating secondary raw material resources of fish processing plants by ultrafiltration method using ceramic membranes

N.P. Boeva, A.I. Bochkarev, O.V. Bredikhina

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO", Moscow)

The data about total volume of fish meal producing in Russian Federation are presented. The feasibility of further development of processing technologies for press water is shown. Description of the existing technical solutions in this area and the feasibility of membrane filtration methods for its processing is substantiated. The advantages of baromembrane technologies on modern level of its development are shown. The usage of ceramic membranes for processing of press water by ultrafiltration method is substantiated. The pilot membrane plant for press water separating, which includes ceramic membranes CeRAM INSIDE® is described. Technological experiments for selection of rational membrane element for press water concentrating are described and the results of technological experiments for determining the mode of their concentrating on selected membrane are also presented. It is established, that membrane equipment, which includes ceramic membranes CeRAM INSIDE® with molecular weight cut off 300 kD, may be used for concentrating of fish press water by ultrafiltration method. The rational parameters for concentrating of fish press water were defined: liquid velocity — 5 mps, press water temperature — 80–85 °C, duration of working cycle while concentrating — 4.7 hours, transmembrane pressure at beginning of process — 0.05 MPa and 0.25 MPa at the end. The samples of water-containing protein-lipidic concentrate were obtained. It's deduced that chemical composition of concentrate contains 75.6% of moisture, 20.5% of proteins, and 2% of oils. It's established that its protein has high feed value, because protein composition of concentrate contains high amount of non-destructed protein. The feed value of concentrate was researched. It's established, that feed concentrate can be used for feed product producing in the future.

**Key words:** fish meal, press water, baromembrane separation, ultrafiltration, transmembrane pressure, ceramic membranes, protein-lipidic concentrate.