

Процессы и аппараты пищевых производств

Processes and devices for food production

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-3-17-24>

Оригинальная статья/Research article

УДК 66/544.032

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru

Фильтрация механоактивированной морской воды

Сергей Д. Руднев	¹	sdrudnev@ya.ru	 0000-0003-2506-6121
Александра И. Крикун	²	aleksa13@list.ru	 0000-0002-9330-2555
Вероника В. Феоктистова	¹	feonika13@mail.ru	 0000-0002-7680-2611
Максим В. Суменков	³	sumenkov@avtoduk.ru	 0000-0002-4858-0521

¹ Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, ул. Луговая, 52Б, г. Владивосток, 690087, Россия³ ООО Автоцентр «Дюк и К», ул. Баумана, д. 55, г. Кемерово, 650040, Россия

Аннотация. В данной статье представлены результаты комплексного экспериментального исследования воздействия механоактивации (виброактивации, вибромеханоактивации) на процесс фильтрации морской воды через фильтрующие перегородки, выполненного на физических моделях в лабораторных условиях, приближенных к производственным. В ходе экспериментальных работ определены основные показатели процесса фильтрации морской воды, на основе которых построены кривые, характеризующие зависимости данного процесса от применяемых режимов механического воздействия, а именно определены: средняя пропускная способность бумажного, тканевого и насыпного фильтров (песок, гравий) при фильтрации морской воды без ее предварительной активации, после ее предварительной виброактивации и вибромеханоактивации в течении 120 секунд при одинаковых условиях (температура воздуха в помещении, исходная температура воды, объем фильтруемой жидкости, ее масса, объем и высота столба и прочее); средняя разница давлений и средний объемный расход. Установлено, что виброактивация и вибромеханоактивация морской воды способствуют повышению пропускной способности – бумажный фильтр: виброактивация (до 60%), вибромеханоактивация (до 78%); тканевый фильтр: виброактивация (до 8%), вибромеханоактивация (до 71%); насыпной фильтр: виброактивация (до 41%); вибромеханоактивация (до 116%), прослеживается явное преимущество вибромеханоактивации перед виброактивацией: бумажный фильтр (на 18%), тканевый фильтр (63%), насыпной фильтр (75%). Наряду с этим исследование морской воды до и после механического воздействия нашло свое отражение в виде анализа изменения физико-химических показателей таких как температура, водородный показатель, плотность, соленость и общее количество растворенных твердых веществ, которые оказывают влияние на полученный результат.

Ключевые слова: фильтрация, морская вода, механоактивация, фильтрующие перегородки, водородный показатель, плотность, соленость, пропускная способность, разница давлений, объемный расход.

Filtration of mechanically activated seawater

Sergey D. Rudnev	¹	sdrudnev@ya.ru	 0000-0003-2506-6121
Aleksandra I. Krikun	²	aleksa13@list.ru	 0000-0002-9330-2555
Veronika V. Feoktistova	¹	feonika13@mail.ru	 0000-0002-7680-2611
Maxim V. Sumenkov	³	sumenkov@avtoduk.ru	 0000-0002-4858-0521

¹ Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia² Far Eastern State Technical Fishery University, Lugovaya str., 52B, Vladivostok, 690087, Russia³ JLLC Autocenter «Duke and K», st. Bauman 55, Kemerovo, 650040, Russia

Abstract. This article presents the results of a comprehensive experimental study of the impact of mechanical activation (vibration activation, vibro-mechanical activation) on the processes of seawater filtration through the filter partitions, performed on physical models in a laboratory setting closely resembling industrial conditions. Over the course of the experimental work, the main indicators of the processes of seawater filtration were determined based on the constructed curves that characterize the dependence of this processes on the applied modes of mechanical action, specifically the average throughput of paper, fabric and bulk filters (sand, gravel) when filtering seawater without its preliminary activation, after its preliminary vibration activation and vibration mechanical activation for 120 seconds under the same conditions (air temperature in the room, initial water temperature, volume of filtered liquid, its mass, volume and height of the column, etc.); average pressure difference, as well as average volume flow. It has been established that vibration activation and vibro-mechanical activation of seawater contributes to an increase in the throughput through the paper filter: vibration activation (up to 60%), vibro-mechanical activation (up to 78%); fabric filter: vibration activation (up to 8%), vibro-mechanical activation (up to 71%); bulk filter: vibration activation (up to 41%); vibro-mechanical activation (up to 116%). It is established that there is a clear advantage of vibro-mechanical activation over vibration activation: paper filter (by 18%), fabric filter (63%), bulk filter (75%). Along with this, the study of seawater before and after mechanical action was reflected in the form of an analysis of changes in physical and chemical parameters such as temperature, pH value, density, salinity, and the total amount of dissolved solids that affect the result.

Keywords: filtration, seawater, mechanical activation, filtering baffles, pH value, density, salinity, throughput, pressure difference, volume flow.

Для цитирования

Руднев С.Д., Крикун А.И., Феоктистова В.В., Суменков М.В. Фильтрация механоактивированной морской воды // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3. С. 17–24. doi:10.20914/2310-1202-2022-3-17-24

For citation

Rudnev S.D., Krikun A.I., Feoktistova V.V., Sumenkov M.V. Filtration of mechanically activated seawater. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 3. pp. 17–24. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-3-17-24

Введение

Функционирование береговых рыбоперерабатывающих предприятий, заинтересованных обеспечением потребителей продукцией высокого качества невозможно без подготовки воды, соответствующей надлежащим требованиям, где большое значение имеет один из этапов подготовки воды к использованию – фильтрация. Интенсификация данного процесса – важная прикладная задача, для решения которой необходима синергия имеющихся теоретических основ, а также современного опыта и наработок в совершенствовании методов фильтрации [1].

К настоящему времени коллективом авторов произведён ряд исследований в изучении свойств механоактивированной воды и суспензий, включающих экспериментальную часть в лабораторных условиях на стеклянной модели, а также в промышленных условиях на разработанной и сконструированной фильтрующей установке [2], полученные результаты обосновывают актуальность темы исследования и являются основой данной работы.

Исходя из этого, необходимо экспериментально подтвердить эффективность применения вибро-, вибромеханоактивации морской воды при фильтрации для повышения пропускной способности и интенсификации данного процесса.

В силу специфики деятельности рыбоперерабатывающих предприятий нуждается в обильном водопотреблении. Водные ресурсы для данного типа предприятий применяются непосредственно в производственных процессах обработки рыбного сырья, для мытья оборудования, поддержания санитарного состояния помещений. Для консервных цехов характерно химическое загрязнение вод кислотами, щелочами для обработки банок. Поскольку морская вода является коррозионно-агрессивной средой, содержащей большое количество растворенных химических соединений (в наибольшем количестве содержатся хлориды – соединения натрия и магния с хлором, их количество составляет около 88% от общего содержания в воде растворенных веществ), такая вода непригодна для хозяйственно-бытовых нужд [3, 4, 5, 6]. Поэтому практической задачей фильтрации морской воды является уменьшение концентрации солей (опреснение), а также удаление посторонних примесей из воды, представляющих собой взвешенное (грубодисперсное), коллоидное и растворенное состояние [1]. На практике осуществляется различными способами, однако в рамках данного исследования особый интерес представляет фильтрация через разделительные фильтрующие перегородки, в предыдущих работах был подробно обоснован выбор [2]

данного вида фильтрации, а также положительных эффектов применения механоактивации при фильтрации водных растворов.

Морская вода, представляет собой сложный раствор, её физические свойства, в том числе, и плотность значительно отличаются от свойств химически чистой воды [7]. Понятие «раствор» подразумевает «однородную (гомогенную) систему, в состав которой входят молекулы (атомы, ионы) двух или более типов, причём доля частиц каждого типа может непрерывно меняться в определённых пределах. От механической смеси раствор отличается однородностью, от химического соединения – непостоянством состава» [2]. Таким образом, оба понятия – вода и раствор – характеризуются как однородная смесь тех или иных молекул. Феномен активации воды посредством воздействия на нее внешних факторов физической природы, приводящий к последствиям одинаковой направленности: изменению pH, вязкости и поверхностного натяжения. Существующие объяснения феномена сводятся, как правило, к предположению о перестройке структуры воды на молекулярном уровне [8–10].

Однако помимо содержания растворенных солей морская вода содержит в том числе, органику, живые организмы и растворенные газы, что обуславливает многофакторность состава и может повлиять на предсказуемость результатов механоактивации [11]. Исходя из этого, исследование процесса фильтрации механоактивированной морской воды в настоящей работе будет производиться через тканевые, бумажные, зернистые перегородки в лабораторных условиях. Анализ полученных результатов позволит оценить целесообразность последующего этапа, а именно фильтрации механоактивированной морской воды через насыпные зернистые перегородки в условиях, приближенных к деятельности берегового предприятия рыбной отрасли.

Материалы и методы

Проведено экспериментальное исследование на физической модели (рисунок 1), целью которого было определение пропускной способности фильтра, основных физико-химических показателей, напрямую влияющих на процесс и качество фильтрата: температура (t , °C), плотность (ρ , кг/м³), водородный показатель (pH), общее количество растворенных твердых веществ (TDS , ppm), солёность (S , ‰) и др. Фильтрацию подвергалась морская вода (без активации, после вибро- и вибромеханоактивации) через бумажные и тканевые, зернистые перегородки.

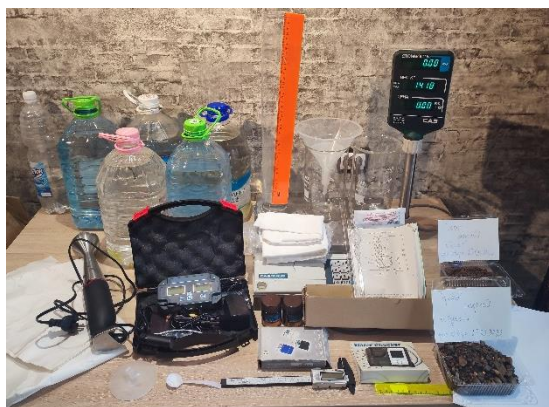


Рисунок 1. Физическая модель

Figure 1. Physical model

Пробы морской воды отбирались в акватории о. Русский, мыс Поспелова на расстоянии 200 м от берега с глубины 10 м, в соответствии с действующими методиками.

В качестве разделительных перегородок были использованы следующие:

- бумажные – фильтровальная бумага, 1 слой;
- тканевые – бязь отбеленная, поверхностная плотность – 140 г./м², 2 слоя;
- зернистые материалы – морской песок (навеска 300 г., средний размер фракций 0,3 мм), морской гравий (навеска 300 г., средний размер фракций 3 мм), Пробы природных материалов были отобраны на о. Русский, мыс Поспелова.

Выбор природных материалов обоснован тем, что морские пески отличаются низким содержанием глинистых и каменных примесей, имеют высокий коэффициент фильтрации, пористость зерна и класс радиоактивности и др. Достоинствами морского вида гравия являются, то что не влияют на химический состав воды, добываются в Приморском крае, после промывки не имеют примесей; устойчивы к воздействию агрессивных сред; не подвержены гниению;

отвечают высоким техническим и экологическим требованиям, имеют различные размерные фракции и др. [1, 16].

Подготовка зернистых материалов к применению проводилась согласно действующим документам.

В процессе исследования производилась фото- и видео фиксация. Все измерения производились в соответствии с действующими стандартами при помощи измерительных приборов с ценой деления 0,01, 0,1 и 1.

Движущая сила процесса фильтрования – разность давлений по обе стороны фильтрующей перегородки (ΔP , Па) определялась создаваемым гидростатическим давлением самой разделяемой жидкости. Активация осуществлялась вибромеханоактиватором при скорости вращения вала: $\omega = 2000 \text{ мин}^{-1}$, с амплитудой колебаний: $A = 1,5 \text{ мм}$ в течение: $\tau = 120\text{--}180 \text{ с}$. Для определения интересующих параметров (рН, t , TDS, солёность (S , ‰) и ρ) использовался анализатор качества воды W3988. Измерение таких показателей как солёность и плотность дублировалось с помощью оптического рефрактометра Brix&Salinity.

До начала процесса фильтрования через природные зернистые материалы на тканевую перегородку (2 слоя) сверху поочередно засыпались зернистые материалы слоем одинаковой толщины (h), таким образом, что первым засыпался материал с наибольшим размером зерен (морской гравий) d_1 , затем с размером зерен (морской песок) $d_2 < d_1$, происходило естественное уплотнение – A_0 , частота колебаний ($f_0 = 0$).

Результаты

В данном подразделе представлены результаты эксперимента в виде графических зависимостей, полученные в лабораторных условиях.

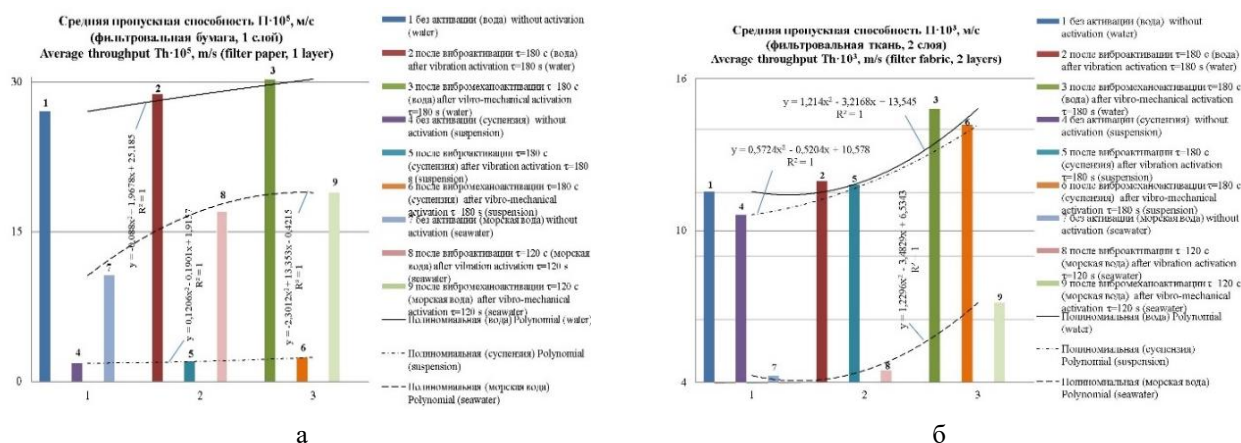


Рисунок 2. Средняя пропускная способность: а – бумажного фильтра; б – тканевого фильтра

Figure 2. Average throughput: a – filter paper; b – filter fabric

На рисунке 2 представлена средняя пропускная способность бумажного (а) и тканевого (б) фильтров (без активации, после виброактивации и после вибромеханоактивации), при этом также определялись: средняя разница давлений (ΔP_{cp} , Па) и средний объемный расход (Q_{cp} , м³/с). Исследование фильтрования дистиллированной воды и меловой суспензии (3 г мела на 1 л воды) производилось после предварительной механоактивации в течении времени ($\tau = 180$ с). Предварительные последующие исследования показали, что механоактивация в течении времени ($\tau = 120$ с) на аналогичный объем жидкости ($V = 1 \cdot 10^6$ м³) является достаточной для получения положительного результата. Поэтому исследование пропускной способности фильтров при фильтровании морской воды осуществлялось после ее механоактивации в течении данного промежутка времени (экономия временных и энергоресурсов). Дальнейшее исследование будет направлено на уточнение оптимального времени активации (до минимального).

Анализ гистограмм (рисунок 2) позволил подтвердить рост пропускной способности фильтров под влиянием предварительной механоактивации исследуемых жидкостей ($\tau = 120$ –180 с). Установлено, что виброактивация и вибромеханоактивация способствуют повышению пропускной способности фильтров:

- бумажный фильтр (виброактивация): дистиллированная вода (до 7%); меловая суспензия (до 10%); морская вода (до 60%);
- бумажный фильтр (вибромеханоактивация): дистиллированная вода (до 12%); меловая суспензия (до 32%); морская вода (до 78%);
- тканевый фильтр (виброактивация): дистиллированная вода (до 4%); меловая суспензия (до 12%); морская вода (до 8%);
- тканевый фильтр (вибромеханоактивация): дистиллированная вода (до 30%); меловая суспензия (до 34%); морская вода (до 71%).

В таблице 1 предложена сравнительная характеристика средней разницы давления (ΔP_{cp} , Па) и среднего объемного расхода (Q_{cp} , м³/с) бумажного и тканевого фильтров.

Полученные результаты позволили перейти к исследованию пропускной способности насыпных фильтров (песок, гравий) при фильтровании морской воды, отличающейся своим сложным составом и физико-химическими свойствами (рисунки 3, 4). Данные зернистые материалы выбраны, для максимального приближения к условиям на береговых рыбоперерабатывающих предприятиях. Подбор наиболее подходящих зернистых материалов на данном этапе не планировался.

Таблица 1.
Сравнительная характеристика ΔP_{cp} , Па и Q_{cp} , м³/с

Table 1.
Comparative characteristics ΔP_{avg} , Pa и Q_{avg} , m³/s

Бумажный фильтр Paper filter			Тканевый фильтр Fabric filter	
№	ΔP_{cp} , Па	Q_{cp} , м ³ /с	ΔP_{cp} , Па	Q_{cp} , м ³ /с
1	1900,70	$105,6 \times 10^{-8}$	1497,51,70	$4,50 \times 10^{-5}$
2	1892,56	$112,24 \times 10^{-8}$	1544,60	$4,67 \times 10^{-5}$
3	1844,74	$118,21 \times 10^{-8}$	1662,20	$5,81 \times 10^{-5}$
4	1812,89	$7,2 \times 10^{-8}$	1701,51	$4,15 \times 10^{-5}$
5	1832,09	$7,87 \times 10^{-8}$	1722,93	$4,61 \times 10^{-5}$
6	1987,18	$9,49 \times 10^{-8}$	1723,09	$5,53 \times 10^{-5}$
7	1715,02	$4,15 \times 10^{-7}$	1833,92	$1,67 \times 10^{-5}$
8	1990,68	$6,66 \times 10^{-7}$	1774,13	$1,75 \times 10^{-5}$
9	1987,70	$7,38 \times 10^{-7}$	1985,47	$2,79 \times 10^{-5}$

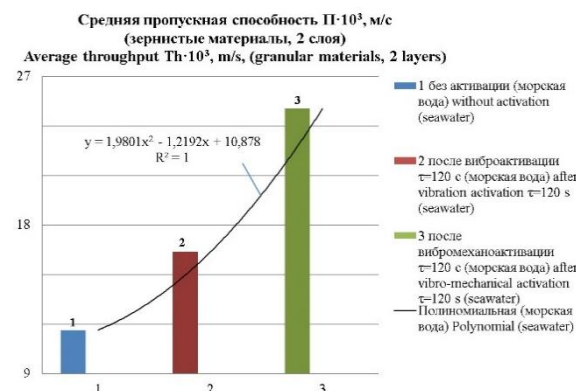


Рисунок 3. Средняя пропускная способность насыпного фильтра

Figure 3. Average throughput of a bulk filter

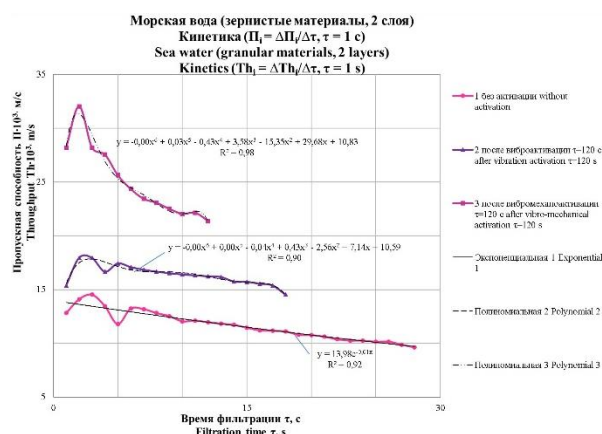


Рисунок 4. Зависимость пропускной способности насыпного фильтра от времени фильтрования

Figure 4. The dependence of the bulk filter throughput from filtration time

Анализ гистограммы (рисунок 3) и кривых (рисунок 4) позволил установить, что виброактивация и вибромеханоактивация морской воды также способствуют повышению пропускной способности насыпных фильтров: виброактивация (до 41%); вибромеханоактивация (до 116%).

Получив положительные результаты, нами было решено исследовать некоторые физико-химические показатели морской воды до и после (температуру t , водородный показатель pH , плотность ρ , соленость S и общее количество

растворенных твердых веществ TDS), которые могут влиять на полученные данные.

Результаты измерений представлены на рисунках 5–9.

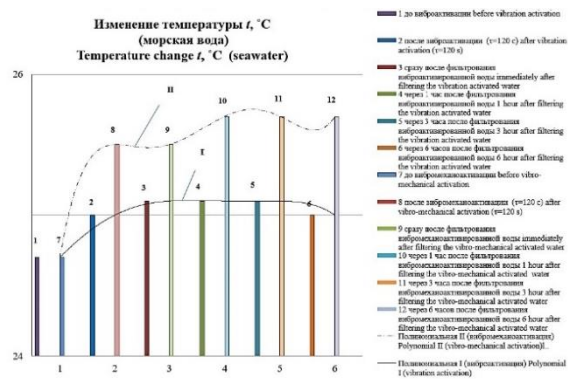


Рисунок 5. Изменение температура морской воды: I – уравнение: $y = -0,00 x^5 + 0,03 x^4 - 0,13 x^3 + 0,18 x^2 + 0,33 x + 24,30$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$; II – уравнение: $y = 0,02 x^5 - 0,31 x^4 + 2,17 x^3 - 7,19 x^2 + 11,32 x + 18,70$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$

Figure 5. Seawater temperature change: I – equation: $y = -0.00 x^5 + 0.03 x^4 - 0.13 x^3 + 0.18 x^2 + 0.33x + 24.30$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$; II – equation: $y = 0.02 x^5 - 0.31 x^4 + 2.17 x^3 - 7.19 x^2 + 11.32x + 18.70$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$

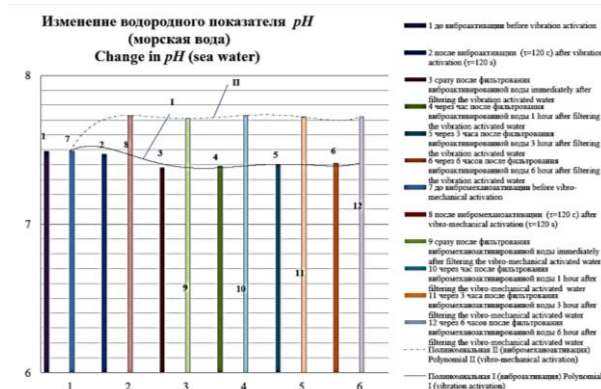


Рисунок 6. Изменение водородного показателя морской воды: I – уравнение: $y = 0,00 x^5 - 0,06 x^4 + 0,40 x^3 - 1,29 x^2 + 1,80 x + 6,63$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$; II – уравнение: $y = 0,03 x^5 - 0,59 x^4 + 4,14 x^3 - 13,46 x^2 + 19,20 x - 1,83$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$

Figure 6. pH value of seawater change: I – equation: $y = 0.00 x^5 - 0.06 x^4 + 0.40 x^3 - 1.29 x^2 + 1.80x + 6.63$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$; II – equation: $y = 0.03 x^5 - 0.59 x^4 + 4.14 x^3 - 13.46 x^2 + 19.20x - 1.83$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$

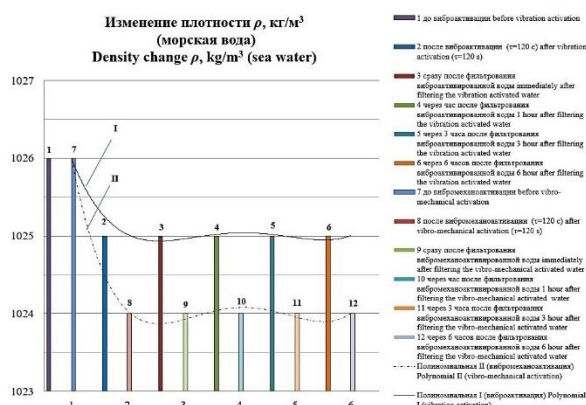


Рисунок 7. Изменение плотности морской воды: I – уравнение: $y = 0,04 x^4 - 0,68 x^3 + 3,93 x^2 - 9,64 x + 1032,33$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$; II – уравнение: $y = 0,02 x^4 - 0,34 x^3 + 1,97 x^2 - 4,82 x + 1029,17$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$

Figure 7. Seawater density change: I – equation: $y = 0.04 x^4 - 0.68 x^3 + 3.93 x^2 - 9.64x + 1032.33$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$; II – equation: $y = 0.02 x^4 - 0.34 x^3 + 1.97 x^2 - 4.82x + 1029.17$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$

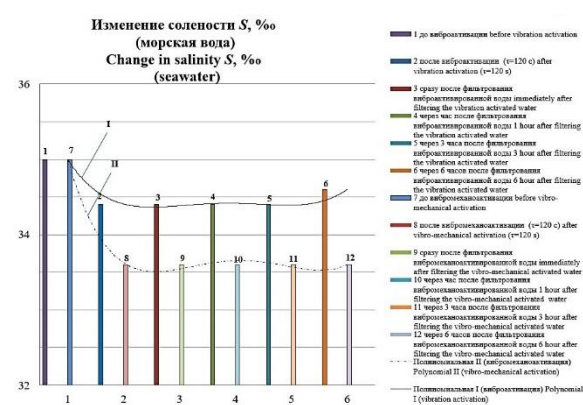


Рисунок 8. Изменение солености морской воды: I – уравнение: $y = 0,02 x^4 - 0,25 x^3 + 1,38 x^2 - 3,21 x + 37,07$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$; II – уравнение: $y = 0,03 x^4 - 0,47 x^3 + 2,75 x^2 - 6,75 x + 39,43$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1,00$

Figure 8. Salinity of seawater change: I – equation: $y = 0.02 x^4 - 0.25 x^3 + 1.38 x^2 - 3.21x + 37.07$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$; II – equation: $y = 0.03 x^4 - 0.47 x^3 + 2.75 x^2 - 6.75x + 39.43$; value of reliable approximation: $R^2 = 1.00$

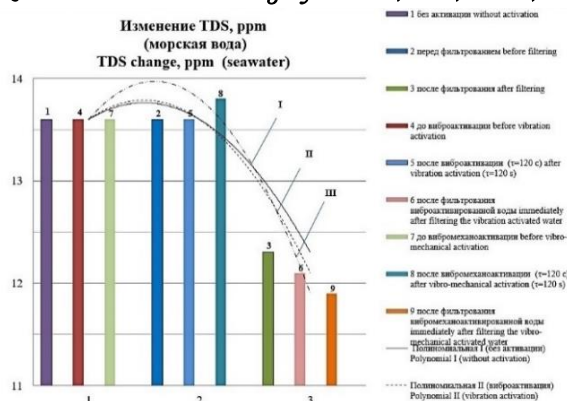


Рисунок 9. Изменение TDS морской воды: I – уравнение: $y = -0,65x^2 + 1,95x + 12,3$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1$; II – уравнение: $-0,75x^2 + 2,25x + 12,1$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1$; III – уравнение: $-1,05x^2 + 3,35x + 11,3$; величина достоверной аппроксимации: $R^2 = 1$

Figure 9. TDS of seawater change: I – equation: $y = -0.65x^2 + 1.95x + 12.3$; value of reliable approximation: $R^2 = 1$; II – equation: $-0.75x^2 + 2.25x + 12.1$; value of reliable approximation: $R^2 = 1$; III – equation: $-1.05x^2 + 3.35x + 11.3$; value of reliable approximation: $R^2 = 1$

Анализ гистограмм (рисунки 5, 6, 7, 8, 9) показал изменение следующих показателей морской воды при явном преимуществе вибромеханоактивации перед виброактивацией:

– после виброактивации: температура ↑ на 1,62%; водородный показатель ↓ на 1,5%; плотность ↓ на 0,1%; соленость ↓ на 1,72%; TDS после фильтрования виброактивированной воды ↓ на 11,02%;

– после вибромеханоактивации: температура ↑ на 4,04%; водородный показатель ↑ на 3,2%; плотность ↓ на 0,19%; соленость ↓ на 4%; TDS после фильтрования вибромеханоактивированной воды ↓ на 12,32%.

Кроме того, температура сохранялась в течении 6 часов, а водородный показатель начал стабилизироваться только после 3, не достигнув исходных значений, даже через 6 часов; плотность и соленость не изменили своих значений в отчетный период (до 6 часов после активации). Это позволяет прийти к выводу, что механоактивация является продолжительным эффектом.

При виброактивации морской воды отмечается снижение водородного показателя, что объясняется насыщением кислорода, так в процессе виброактивации создается большое количество пузырьков воздуха (рисунок 10, а),

образующие слабую кислоту, возникает эффект минерализации, ее умягчение, а также снижении солёности и плотности. Пена не формируется.

В процессе вибромеханоактивации морской воды образовывалась пена (рисунок 10 б, в), как и подобно морской пене – возникающей в естественных условиях за счет механических свойств жидкости при волнении волн, воздуха и органических соединений, растворенных в море, которые действуют как поверхностно-активные вещества, происходит насыщение воды кислородом, в результате чего образуются пузырьки, которые сразу поднимаются на поверхность в виде пены, возникает эффект бриза, этим объясняется и изменение цвета морской воды.

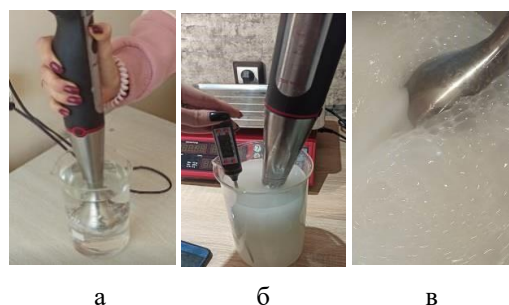


Рисунок 10. Процесс механоактивации морской воды: а – виброактивация; б, в – вибромеханоактивация

Figure 10. The process of mechanical activation of seawater: а – vibration activation; б, в – vibromechanical activation

Повышение водородного показателя происходит за счет высокой концентрацией, содержащихся в пене растворённых солей – солей жесткости (магния, кальция, железа и др.), в объеме воды же происходит снижение солёности и плотности.

Заключение

Полученные экспериментальные и расчетные значения показали, что механоактивация морской воды позволяет не только повысить производительность процесса фильтрования, но и повысить качество фильтрата за счет снижения TDS. Повышение пропускной способности связано в первую очередь с повышением температуры, снижением плотности и солёности. Дальнейшее исследование будет направлено на изучение вязкости и поверхностного натяжения морской воды после механоактивации, а также оптимального минимального времени активации.

Литература

- 1 Крикун А.И., Руднев С.Д. Исследование процесса фильтрования морской воды насыпными фильтрами с применением вибрации // Вестник ВГУИТ. 2018. № 80(1). doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-50-54
- 2 Rudnev S.D., Krikun A.I., Feoktistova V.V. Changing properties of mechanically activated water suspensions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. V. 1155. P. 12042. doi: 10.1088/1757-899X/1155/1/012042

- 3 Кунденко С.Б. Технология реагентной очистки стоков с высоким содержанием морской воды рыбоперерабатывающих предприятий // Вестник ИП ДВФУ. 2019. № 3 (40). С. 123–132.
- 4 Rusydi A.F. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review // IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing, 2018. V. 118. № 1. P. 012019.
- 5 Краснова Т.А. Водоподготовка в пищевой промышленности // Техника и технология пищевых производств. 2018. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodopodgotovka-v-pischevoy-promyshlennosti>
- 6 Пат. № 2688617, RU, C02F 1/04. Способ предварительной обработки и активации воздухом морской воды перед ее опреснением / Бирюков В.В., Шелудько Л.П., Шиманова А.Б., Шиманов А.А., Урлакин В.В., Корнев С.С. № 2018145335; Заявл. 18.12.2018; Опубл. 21.05.2019, Бюл. № 15.
- 7 Wang B.B. Research on drinking water purification technologies for household use by reducing total dissolved solids (TDS) // Plos one. 2021. № 16.9. e0257865. doi: 10.1371/journal.pone.0257865
- 8 Новикова А.Е., Руина К.С. Современные методы очистки воды // Вестник науки. 2021. № 1 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-ochistki-vody>
- 9 Яхно Т.А., Яхно В.Г. Исследование роли микродисперсной фазы воды при переходе ее в состояние активации // Journal of Biological Physics and Chemistry. 2020. № 5. URL: https://www.researchgate.net/publication/344376681_ISSLEDOVANIE_ROLI_MIK-RODISPERSNOJ_FAZY_VODY_PRI_PEREHODE_EE_V_SOSTOANIE_AKTIVACII
- 10 Варченко Е.А., Киричок П.Ф. Исследование биологической и коррозионной стойкости образцов алюминиевого сплава после натурных испытаний в геленджикской бухте. Часть 2 // Труды ВИАМ. 2020. № 9 (91). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-biologicheskoy-i-korrozionnoy-stoykosti-obraztso-v-alyuminievogo-splava-posle-naturnyh-ispytaniy-v-gelendzhikskoy-buhte-1>
- 11 Cobcroft J.M., Battaglene S.C. Ultraviolet irradiation is an effective alternative to ozonation as a sea water treatment to prevent *Kudoa neurophila* (Mycozoa: Myxosporidia) infection of striped trumpeter, *Lateolabrax lineatus* (Forster) // Journal of fish diseases. 2013. V. 36. № 1. P. 57-65. doi: 10.1111/j.1365-2761.2012.01413.x
- 12 Deroine M., Le Duigou A., Corre Y.M., Le Gac P.Y. et al. Seawater accelerated ageing of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) // Polymer degradation and stability. 2014. V. 105. P. 237-247. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.04.026
- 13 Shi D., Yao Y., Ye J., Zhang W. Effects of seawater on mechanical properties, mineralogy and microstructure of calcium silicate slag-based alkali-activated materials // Construction and Building Materials. 2019. V. 212. P. 569-577. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.288
- 14 Rudnev S., Krikun A., Feoktistova V., Kustovinova M. Study of the effect of mechanical activation on the suspension filtration process // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2022. V. 2503. № 1. P. 050039. doi: 10.1063/5.0100103
- 15 de Oliveira F.F., Schneider R.P. Slow sand filtration for biofouling reduction in seawater desalination by reverse osmosis // Water research. 2019. V. 155. P. 474-486. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.033
- 16 Chung W.J., Torrejos R.E.C., Park M.J., Vivas E.L. et al. Continuous lithium mining from aqueous resources by an adsorbent filter with a 3D polymeric nanofiber network infused with ion sieves // Chemical Engineering Journal. 2017. V. 309. P. 49-62. doi: 10.1016/j.cej.2016.09.133
- 17 Akhondi E., Wu B., Sun S., Marxer B. et al. Gravity-driven membrane filtration as pretreatment for seawater reverse osmosis: linking biofouling layer morphology with flux stabilization // water research. 2015. V. 70. P. 158-173. doi: 10.1016/j.watres.2014.12.001
- 18 Xu X., Yue Y., Cai D., Song J. et al. Aqueous Solution Blow Spinning of Seawater-Stable Polyamidoxime Nanofibers from Water-Soluble Precursor for Uranium Extraction from Seawater // Small Methods. 2020. V. 4. № 12. P. 2000558. doi: 10.1002/smt.202000558
- 19 Xu J., Chang C.Y., Hou J., Gao C. Comparison of approaches to minimize fouling of a UF ceramic membrane in filtration of seawater // Chemical engineering journal. 2013. V. 223. P. 722-728. doi: 10.1016/j.cej.2012.12.089
- 20 Feng B., Xu K., Huang A. Covalent synthesis of three-dimensional graphene oxide framework (GOF) membrane for seawater desalination // Desalination. 2016. V. 394. P. 123-130. doi: 10.1016/j.desal.2016.04.030

References

- 1 Krikun A.I., Rudnev S.D. Investigation of the process of sea water filtration by bulk filters using vibration. Proceedings of VSUET. 2018. no. 80(1). doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-50-54 (in Russian).
- 2 Rudnev S.D., Krikun A.I., Feoktistova V.V. Changing properties of mechanically activated water suspensions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. vol. 1155. pp. 12042. doi: 10.1088/1757-899X/1155/1/012042
- 3 Kundenok S.B. Technology of reagent treatment of wastewater with a high content of sea water from fish processing enterprises. Bulletin of the ISH FEFU. 2019. no. 3 (40). pp. 123–132. (in Russian).
- 4 Rusydi A.F. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing, 2018. vol. 118. no. 1. pp. 012019.
- 5 Krasnova T.A. Water treatment in the food industry. Technique and technology of food production. 2018. no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodopodgotovka-v-pischevoy-promyshlennosti> (in Russian).
- 6 Biryukov V.V., Sheludko L.P., Shimanova A.B., Shimanov A.A., Uralin V.V., Kornev S.S. Method for pretreatment and air activation of sea water before its desalination. Patent RF, No. 2688617, 2019.
- 7 Wang B.B. Research on drinking water purification technologies for household use by reducing total dissolved solids (TDS). Plos one. 2021. no. 16.9. e0257865. doi: 10.1371/journal.pone.0257865 (in Russian).
- 8 Novikova A.E., Ruina K.S. Modern methods of water treatment. Science Bulletin. 2021. no. 1 (34). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-ochistki-vody> (in Russian)

- 9 Yakhno T.A., Yakhno V.G. Investigation of the role of the microdisperse phase of water during its transition to the activation state. *Journal of Biological Physics and Chemistry*. 2020. no. 5. Available at: https://www.researchgate.net/publication/344376681_ISSLEDOVANIE_ROLI_MIK-RODISPERSNOJ_FAZY_VODY_PR-I_PEREHODE_EE_V_SOSTOANIE_AKTIVACII (in Russian).
- 10 Varchenko E.A., Kirichok P.F. Study of the biological and corrosion resistance of aluminum alloy samples after field tests in the Gelendzhik Bay. Part 2. *Proceedings of VIAM*. 2020. no. 9 (91). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-biologicheskoy-i-korroziionnoy-stoykosti-obraztso-v-alyuminievogo-splava-after-naturyh-ispytaniy-v-gelendzhikskoy-buhte-1> (in Russian).
- 11 Cobcroft J.M., Battaglene S.C. Ultraviolet irradiation is an effective alternative to ozonation as a sea water treatment to prevent *K. udoda neurophila* (M. yxozoa: M. yxosporea) infection of striped trumpeter, *Latis lineata* (Forster). *Journal of fish diseases*. 2013. vol. 36. no. 1. pp. 57-65. doi: 10.1111/j.1365-2761.2012.01413.x
- 12 Deroine M., Le Duigou A., Corre Y.M., Le Gac P.Y. et al. Seawater accelerated ageing of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate). *Polymer degradation and stability*. 2014. vol. 105. pp. 237-247. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.04.026
- 13 Shi D., Yao Y., Ye J., Zhang W. Effects of seawater on mechanical properties, mineralogy and microstructure of calcium silicate slag-based alkali-activated materials. *Construction and Building Materials*. 2019. vol. 212. pp. 569-577. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.288
- 14 Rudnev S., Krikun A., Feoktistova V., Kustovinova M. Study of the effect of mechanical activation on the suspension filtration process. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC, 2022. vol. 2503. no. 1. pp. 050039. doi: 10.1063/5.0100103
- 15 de Oliveira F.F., Schneider R.P. Slow sand filtration for biofouling reduction in seawater desalination by reverse osmosis. *Water research*. 2019. vol. 155. pp. 474-486. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.033
- 16 Chung W.J., Torrejos R.E.C., Park M.J., Vivas E.L. et al. Continuous lithium mining from aqueous resources by an adsorbent filter with a 3D polymeric nanofiber network infused with ion sieves. *Chemical Engineering Journal*. 2017. vol. 309. pp. 49-62. doi: 10.1016/j.cej.2016.09.133
- 17 Akhondi E., Wu B., Sun S., Marxer B. et al. Gravity-driven membrane filtration as pretreatment for seawater reverse osmosis: linking biofouling layer morphology with flux stabilization. *water research*. 2015. vol. 70. pp. 158-173. doi: 10.1016/j.watres.2014.12.001
- 18 Xu X., Yue Y., Cai D., Song J. et al. Aqueous Solution Blow Spinning of Seawater-Stable Polyamidoxime Nanofibers from Water-Soluble Precursor for Uranium Extraction from Seawater. *Small Methods*. 2020. vol. 4. no. 12. pp. 2000558. doi: 10.1002/smt.202000558
- 19 Xu J., Chang C.Y., Hou J., Gao C. Comparison of approaches to minimize fouling of a UF ceramic membrane in filtration of seawater. *Chemical engineering journal*. 2013. vol. 223. pp. 722-728. doi: 10.1016/j.cej.2012.12.089
- 20 Feng B., Xu K., Huang A. Covalent synthesis of three-dimensional graphene oxide framework (GOF) membrane for seawater desalination. *Desalination*. 2016. vol. 394. pp. 123-130. doi: 10.1016/j.desal.2016.04.030

Сведения об авторах

Сергей Д. Руднев д.т.н., профессор, кафедра мехатроники и робототехники технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово 650000, Россия, sdrudnev@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

Александра И. Крикун к.т.н., доцент, кафедра технологических машин и оборудования, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, ул. Луговая, 52Б, г. Владивосток, 690087, Россия, aleksa13@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9330-2555>

Вероника В. Феоктистова аспирант, кафедра мехатроники и робототехники технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово 650000, Россия, feonika13@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7680-2611>

Максим В. Суменков директор по производству, Общество с ограниченной ответственностью Автоцентр «Дюк и К», ул. Баумана, д. 55, г. Кемерово, 650040, Россия, sumenkov@avtoduk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4858-0521>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey D. Rudnev Dr. Sci. (Engin.), professor, mechatronics and robotics of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia, sdrudnev@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

Aleksandra I. Krikun Cand. Sci (Engin.), associate professor, technological machines and equipment department, Far Eastern State Technical Fishery University, Lugovaya str., 52B, Vladivostok, 690087, Russia, aleksa13@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9330-2555>

Veronika V. Feoktistova graduate student, mechatronics and robotics of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia, feonika13@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7680-2611>

Maxim V. Sumenkov production director, Limited Liability Company Autocentre «Duke and K», st. Bauman, d. 55, Kemerovo, 650040, Russia, sumenkov@avtoduk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4858-0521>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 14/07/2022	После редакции 10/08/2022	Принята в печать 02/09/2022
Received 14/07/2022	Accepted in revised 10/08/2022	Accepted 02/09/2022