

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-2-275-292

EDN: OZQEPJ

УДК 628.2:626.8

Научная статья / Research article

Совершенствование метода очистки сточных вод от загрязнений растительно-животного происхождения

С.Б. Кунденко^{ID}, В.Н. Волкова^{ID}, Д.Л. Марков^{ID},
А.С. Финкельштейн^{ID}, И.М. Казанцев^{ID}✉

*Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), Владивосток, Российская
Федерация*

✉ kazantcev.im@dvfu.ru

Аннотация. Рассмотрены анализ воздействующих факторов и совершенствование технологии очистки вод производства порошковой витаминизированной смеси на основе соевого и молочного белка. Проведена серия лабораторных испытаний коагуляционного выделения загрязнений из раствора в осадок. Разработано инновационное решение физико-химической обработки стока с использованием технической соды и морской соли. Экспериментально выявлен температурный фактор хлопьеобразования и установлено, что при температуре выше 46 °С происходит формирование казеинового сгустка, который усложняет работу флотационной установки. По итогам исследований авторами статьи разработаны мероприятия и технологические решения проектирования цеховых очистных сооружений, включающих усреднитель индивидуальной конструкции, обеспечивающий температурный фактор коагуляции, реагентный флотатор и узел обработки флотопены и осадка. Разработанный физико-химический способ очистки представляет собой оптимальное и экономически целесообразное технологическое решение для локальных сооружений, обеспечивающее необходимую степень извлечения загрязнений до норм на сброс в сети городской канализации при резко изменяющихся параметрах сточных вод в течение рабочей смены, а выделенные из раствора белки не содержат солей алюминия или железа и могут быть использованы в приготовлении грунта для озеленения после обеззараживания.

Ключевые слова: молоко, соя, порошковый концентрат, промышленные сточные воды, локальные очистные сооружения, температура коагуляции, природные реагенты

Вклад авторов. Кунденко С.Б., Волкова В.Н. — концептуализация, постановка задачи исследования, разработка технологической схемы. Кунденко С.Б., Волкова В.Н., Марков Д.Л., Финкельштейн А.С., Казанцев И.М. — проведение исследования, подготовка статьи к публикации. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Кунденко С.Б., Волкова В.Н., Марков Д.Л., Финкельштейн А.С., Казанцев И.М., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявление об использовании технологий искусственного интеллекта. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Заявление о доступности данных. Все проведенные авторами исследования и их результаты представлены в статье.

История статьи: поступила в редакцию 15.06.2025; доработана после рецензирования 06.12.2025; принята к публикации 02.02.2026.

Для цитирования: Кунденок С.Б., Волкова В.Н., Марков Д.Л., Финкельштейн А.С., Казанцев И.М. Совершенствование метода очистки сточных вод от загрязнений растительно-животного происхождения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 2. С. 275–292. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-275-292> EDN: OZQEPJ

Improving the method of wastewater treatment from plant-animal pollutants

Svetlana B. Kundenok , Vladislava N. Volkova , Danil L. Markov ,
Artem S. Finkelshtein , Ilya M. Kazantsev  

Far Eastern Federal University (FEFU), Vladivostok, Russian Federation

 kazantsev.im@dvfu.ru

Abstract. The research paper examines the analysis of factors involved and the improvement of water purification technology for the production of powdered fortified mixture based on soybean and milk protein. A series of laboratory tests of coagulation release of contaminants from solution to sediment was carried out. An innovative solution has been developed for the physico-chemical treatment of wastewater using technical soda and sea salt. The temperature factor of flocculation has been determined experimentally, and it has been established that at temperatures above 46°C, a casein clot is formed, which complicates the operation of the flotation plant. Based on the results of the research, the authors of the article have developed measures and technological solutions for the design of workshop sewage treatment plants, including an individual design average that provides a temperature coagulation factor, a reagent flotation device and a flotation foam and sludge treatment unit. The developed physico-chemical purification method is an optimal and economically feasible technological solution for local facilities, providing the necessary degree of pollution extraction prior to discharge into the urban sewer network with dramatically changing wastewater parameters during the work shift, and the proteins isolated from the solution do not contain aluminum or iron salts and can be used in soil preparation. for landscaping after disinfection.

Keywords: milk, soy, powdered concentrate, industrial wastewater, local wastewater treatment plants, coagulation temperature, natural reagents

Authors' contribution. *S.B. Kundenok, V.N. Volkova* — conceptualization, formulation of research problems, development of a technological scheme; *S.B. Kundenok, V.N. Volkova, D.L. Markov, A.S. Finkelshtein, I.M. Kazantsev* — conducting research, preparing an article for publication. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Statement on the use of artificial intelligence technologies. No generative artificial intelligence technologies were used in the creation of this article.

Data availability statement. All data obtained during this study are included in the published article.

Article history: received 15.06.2025; revised 06.12.2025; accepted 02.02.2026.

For citation: Kundenok SB, Volkova VN, Markov DL, Finkelshtein AS, Kazantsev IM. Improving the method of wastewater treatment from plant-animal pollutants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(2):275–292. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-275-292> EDN: OZQEPJ

Введение

Очистка промышленных сточных вод является одной из важнейших задач современной экологической инженерии. В условиях постоянного ужесточения требований к качеству обработки вод особое внимание уделяется разработке и совершенствованию эффективных технологических решений.

Особенностью сточных вод производства продуктов питания являются колебания концентраций загрязнений и расхода воды в течение рабочей смены, которые необходимо учитывать при организации процессов водоочистки, это требует предпроектных научных исследований в целях обеспечения экономической целесообразности строительных и эксплуатационных затрат. В табл. 1 представлены исходные показатели сточных вод производства белкового концентрата растительного происхождения.

Таблица 1. Показатели сточных вод до очистки

№	Показатели	Исходные сточные воды	Требования к загрязнению на сброс в сети городской канализации
1	Водородный показатель pH, ед.	6–7,8	6,5–8,5
2	БПК ₅ , мг/л	931 ± 16,8	180 ± 18
3	Взвешенные вещества, мг/л	1081 ± 3,8	265,0 ± 26,5
4	Жиры, мг/л	13,0 ± 1,12	12,9 ± 2,5
5	Фосфаты, мг/л	29,42 ± 2,34	2,5 ± 0,2
6	Аммоний солевой, мг/л	21 ± 3,34	11,2 ± 1,5
7	Максимальный / минимальный часовой расход сточных вод, м ³	30 / 5	–
8	Среднесуточный расход сточных вод, м ³	205	–

Источник: составлено С.Б. Кунденюк, В.Н. Волковой, Д.Л. Марковым, А.С. Финкельштейн, И.М. Казанцевым.

Table 1. Indicators of wastewater before treatment

No.	Indicators	Source wastewater	Pollution requirements for discharge into the urban sewerage network
1	Hydrogen pH, units.	6–7.8	6.5–8.5
2	BPK5, mg/l	931 ± 16.8	180 ± 18
3	Suspended solids, mg/l	1081 ± 3.8	265.0 ± 26.5
4	Fats, mg/l	13.0 ± 1.12	12.9 ± 2.5
5	Phosphates, mg/l	29.42 ± 2.34	2.5 ± 0.2
6	Ammonium salt, mg/l	21 ± 3.34	11.2 ± 1.5
7	Maximum / minimum hourly wastewater consumption, m ³	30 / 5	–
8	Average daily waste water consumption, m ³	205	–

Source: compiled by S.B. Kundenok, V.N. Volkova, D.L. Markov, A.S. Finkelshtein, I.M. Kazantsev.

Применение биологического метода для локальной очистки сточных вод в условиях пищевой промышленности, в том числе производства белковой смеси, демонстрирует ограниченную эффективность по следующим причинам [1]:

- нестабильность и высокие показатели загрязнений затрудняют поддержание оптимального режима биодеградации;
- колебания расхода воды нарушают работу биоценоза;
- наличие активного ила или биопленки сооружений водоочистки на территории предприятия представляет дополнительные риски для выпускаемых продуктов питания;
- площадь застройки необходима больше, чем для коагуляционного метода;
- экономическая затратность создания и эксплуатации биологических очистных сооружений.

Реагентная обработка цехового стока производства продуктов питания является приоритетным способом водоочистки после механической стадии обработки и обладает следующими преимуществами:

- высокая эффективность удаления мелкодисперсных и коллоидных примесей;
- стабильность процесса при колебаниях показателей загрязнения;
- экономическая целесообразность применения;
- возможность автоматизации технологического процесса.

Для обработки сточных вод пищевых производств с середины двадцатого века применяются напорные реагентные флотаторы¹, где хлопья разделяются на две фракции: флотопену и оседающий осадок, при этом конструкция

¹ Авт. свидетельство SU 966020 A1, СССР. Флотационный аппарат для реагентной очистки сточных вод : заявл. 27.03.1981 ; опубл. 15.10.1982 / Соловей В.Н., Ободовский Г.А., Волочач С.В. ; заявитель и патентообладатель : Харьковский ордена Ленина политехнический институт им. В.И. Ленина.

устройства постоянно совершенствуется с учетом современных экологических требований к качеству очистки промышленных стоков. Для более эффективного извлечения взвешенных веществ после флотации применяют осаждение в наклонных модулях². Например, в Японии получили распространение тонкослойные отстойники с гофрированными блоками из полимерных материалов, а фирма «Дегремон» выпускает отстойники с трубчатыми блоками RPS³. В отличие от флотаторов режим работы тонкослойного отстойника моделирует естественный процесс седиментации, но в сооружениях такого типа сложно обеспечить распределение движения жидкости между ярусами наклонных элементов [2]. Равномерного распределения воды удается достичь при перекрестном движении воды и осадка. Опыт применения флотации в сочетании с тонкослойным отстаиванием показал высокую эффективность способа извлечения загрязнений для сточных вод пищевой промышленности [3–4].

Обработка воды реагентами — самый распространенный метод водоподготовки для удаления грубодисперсных, коллоидных и растворенных примесей⁴ [5]. Теоретические основы процесса коагуляции воды формировались на протяжении многих десятилетий благодаря фундаментальным исследованиям и широко рассмотрены в работах зарубежных и отечественных ученых: М. Смолуховского, Б.В. Дерягина, Л.Д. Ландау, Э. Фервея, Дж.Т. Овербека, Е.Д. Бабенкова. Физико-химическая очистка сточных вод в научных публикациях и учебниках рассматривается в основном по видам сточных вод и в сочетании с другими методами [6, с. 70; 7–9].

Процесс коагуляции включает в себя несколько стадий: химическое растворение реагента, физико-химическое взаимодействие между примесями и продуктами гидролиза. В процессе коагуляции из сточных вод удаляются взвешенные вещества, коллоидные загрязнения, некоторые растворенные загрязнения, вещества, обладающие поверхностно-активными свойствами, практически все формы фосфора, частично азот, тяжелые металлы. Применение минеральных коагулянтов в сочетании с флокулянтами позволяет интенсифицировать извлечение загрязнений из стоков.

Основные применяемые коагулянты в водоочистке представлены солями железа и алюминия, образованными сильными кислотами, при этом недо-

² Патент RU 2263636C2, С 02 F 1/24, В 03D 1/14. Флотатор : заявл. 02.12.1997 ; опубл. 10.11.2005. Бюл. № 31 / Бочкарев Г.Р., Кондратьев С.А.; заявитель и патентообладатель : Институт горного дела Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН) (RU).

³ Патент RU 206504 U1, C02F 1/465, C02F 1/24, B03D 1/14, C02F 103/20, C02F 103/16. Флотатор : заявл. 07.06.2021 ; опубл. 14.09.2021 / Киров Ю.А., Котов Д.Н. Савельев Ю.А., Киров В.А., Кирова Ю.З., Королев П.А., Сычев А.С. ; заявитель и патентообладатель : федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет» (RU).

⁴ Серпокровлов Н.С., Вильсон Е.В., Гетманцев С.В., Марочкин А.А. Экология очистки сточных вод физико-химическими методами. Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. С. 77, 162.

статочно используются композитные составы, включающие соли калия, кальция и магния. Выбор коагулянта осуществляется с учетом таких факторов, как химический состав самого реагента, свойства и качество обрабатываемой воды, значение рН сточной воды. Водородный показатель раствора играет ключевую роль в процессе гидролиза солей металлов. Важно учитывать, что допустимый диапазон рН для очищенных сточных вод составляет 6,5–8,5, кислые коагулянты (например, FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, полиоксихлорид алюминия) при диссоциации выделяют ион H^+ , а щелочные (алюминат натрия), являясь солями сильных оснований и слабых кислот, выделяют ион OH^- .

Основные факторы, оказывающие влияние на эффективность извлечения загрязнений из вод: доза реагента, щелочность сточных вод, исходный состав воды по содержанию анионов (анионы по степени влияния на коагуляцию можно расположить в следующей последовательности: $(\text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-})$, наличие взвешенных веществ (центров хлопьеобразования), интенсивность смешения стоков с реагентами (необходимо обеспечить равномерное распределение реагента в течение 1–2 минут), перемешивание (оказывает влияние на турбулентную и градиентную коагуляцию) и температура. В контексте нашего исследования температурный фактор приобретает особую значимость, поскольку при превышении порога в 46 °С наблюдается критическое изменение процесса коагуляции: вместо формирования хлопьевидных агрегатов происходит образование казеинового сгустка.

Для повышения эффективности реагентной очистки сточных вод широко применяются два основных метода:

- коагуляция — процесс укрупнения взвешенных частиц;
- корректировка рН — регулирование кислотно-щелочного баланса среды.

Избыточный щелочной резерв необходим, чтобы диссоциация вводимых в стоки коагулянтов прошла в полном объеме, а синтетические или органические флокулянты добавляют для укрупнения хлопьев, образовавшихся в результате гидролиза солей металлов.

Таким образом, реагентная обработка представляет собой сложный технологический процесс, требующий тщательного подбора коагулянтов и учета всех факторов для достижения максимальной эффективности извлечения загрязнений различной степени дисперсности при изменяющихся параметрах сточных вод. При выборе реагентов необходимо учитывать не только информацию о производителе, данные сертификатов качества, стоимость продукции, но и комплексный анализ всех технологических параметров процесса очистки и возможность утилизации осадков.

Цель исследования — разработка способа и конструкторско-технологических решений цеховых очистных сооружений выделения белков в осадок и флотопену.

Материалы и методы

Основной задачей данного этапа экспериментальных исследований является определение предельных температурных параметров, при которых возможно эффективное реагентное осаждение загрязняющих веществ в сточных водах, образующихся в процессе санитарной обработки технологического оборудования.

Объектом исследования выступают сточные воды, формирующиеся при санитарной обработке производственного оборудования, задействованного в процессе производства пищевого концентрата на основе витаминизированного белка растительно-животного происхождения.

Особое внимание в рамках исследования уделено процессам, протекающим на этапе до формирования казеинового сгустка. Данный период характеризуется начальной стадией коагуляции белков, взаимодействием реагентов с загрязняющими веществами, формированием первичных агрегатов и изменениями физико-химических характеристик системы.

Практическая ценность работы определяется возможностью:

- определения оптимальных температурных режимов очистки;
- повышения эффективности процесса осаждения;
- минимизации негативного воздействия на окружающую среду;
- оптимизации технологических параметров очистки.

Ожидаемые результаты:

- установление предельных температурных границ процесса;
- определение влияния температуры на эффективность осаждения;
- разработка технологической схемы процесса очистки.

Таким образом, данное исследование направлено на решение важной научно-практической задачи определения температурных параметров реагентного осаждения загрязняющих веществ в специфических стоках производства пищевого концентрата на основе витаминизированного белка.

Использование морской воды [10], где концентрация ионов Ca^{2+} достигает 0,45 мг/л, а Cl^- — 19,3 мг/л, совместно с сульфатом алюминия предлагается для очистки поверхностных сточных вод, содержащих фенолы, а в пищевой промышленности для хлопьеобразования молочных белков в редких случаях применяют химическую коагуляцию хлоридом кальция⁵. Основываясь на этих данных, в настоящем исследовании продолжено изучение коагулирующих свойств морской воды [11] применительно к сточным водам с высоким содержанием белков.

Сравнение режимов обработки сточных вод проведено по классической методике пробного коагулирования. Для обработки и контроля результатов применялись оперативные аналитические методики. Содержание взвешен-

⁵ Патент RU 2715596 C2. МПК A23J 1/14, A23J 3/14. Получение белкового продукта из бобовых с применением экстракции хлоридом кальция : заявл. 27.11.2016 ; опублик. 02.03.2020. Бюл. № 33 / Сигалл Кевин И., Швайцер Мартин; заявитель и патентообладатель : Баркон Ньюотрасайнс (МБ) корп. (СА).

ных веществ (ВЗВ) определялось способом гравиметрического осаждения. Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) измерялось с использованием йодометрического метода Винклера⁶.

Для количественной оценки изменений гранулометрического состава взвешенных частиц до и после коагуляции образцы частиц отбирались в пяти повторностях и анализировались на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch, Германия). Данный прибор обладает универсальностью и предназначен для определения размеров частиц в диапазоне от 0,01 до 2000 мкм, включая нанометровый масштаб. Принцип работы анализатора основан на дифракции полупроводникового лазерного излучения (зеленый свет, длина волны 532 нм, мощность 7 мВт) на дисперсных образцах. При взаимодействии лазерного луча с частицей происходит ее дифракционное рассеяние под углом, зависящим от размера частицы. Рассеянный свет фиксируется многоэлементным детектором, а интенсивность сигнала на каждом элементе подвергается математической обработке в соответствии с теорией Ми, учитывающей как рассеяние, так и прохождение излучения через частицу [12]. Такой подход обеспечивает повышенную точность определения размера и формы частиц в условиях сложной дисперсной среды.

Результаты и обсуждение

Широко распространенная технология локальной очистки стоков производства продуктов питания включает очистное оборудование: барабанную решетку, усреднитель, оборудованный системой механического перемешивания, и реагентный напорный флотатор. После механической и физико-химической очистки очищенные сточные воды самотеком отводятся через городскую канализацию на станцию биологической очистки.

Для подтверждения предположения, что добавление морской воды, приготовленной из морской соли (ООО «Царская соль», Крымская царская морская соль, помол № 1), и технической соды (ОАО «СОДА», Сода кальцинированная техническая), позволит обеспечить выделение в осадок молочного и соевого белка, проведена серия лабораторных испытаний. Экспериментальные данные сравнивались с классическим реагентным (оксихлорид алюминия, щелочь и Праестол 852 ВС) способом обработки вод.

Разработан план исследований, состоящий из нескольких этапов.

На *первом этапе* исследований проведено определение критической температуры сточных вод, образующихся при санитарной обработке лабораторного оборудования производства витаминизированного молочного-соевого концентрата. Установлено, что формирование казеинового сгустка в смеси молочных и соевых белков происходит при температуре выше 46 °С.

⁶ Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа воды : сб. / под общ. ред. д-ра хим. наук, проф. Ю.Ю. Лурье. 2-е изд., испр. Москва : Химия, 1973. 376 с. С. 47, 255–257.

Второй этап исследований включал подготовку проб сточных вод с температурой 44 °С, распределение образцов в лабораторные цилиндры объемом 850 мл, добавление морской воды в различных пропорциях (50, 100, 150 мл), доведение общего объема до 1000 мл дистиллированной водой, внесение 10 % раствора технической соды до образования хлопьевидных агрегатов. В качестве эталонного образца использовалась классическая схема введения реагентов, оптимизация дозировок проводилась согласно стандартной методике с построением «кривой Смолуховского».

Третий этап исследований был направлен на проведение серии контрольных опытов, определение технологических параметров процесса, установку оптимального содержания морской воды (7,5 %), определение эффективного температурного диапазона коагуляции (42–44 °С).

По фазовому состоянию исходные сточные воды включают взвесь мелко-дисперсных порошковых концентратов сои и обезжиренного молока. В процессе мойки теплой водой технологического оборудования белковые компоненты частично слипаются и образуют агломерации фракцией 2–0,1 мм, при этом разработанный авторами режим коагуляции обеспечил формирование основной массы хлопьев размером 2–4 мм, при средней скорости осаждения 1 мм/с.

На рис. 1 представлен процесс коагуляции (*слева направо*):

- исходные сточные воды;
- созревание флоккул во всем объеме цилиндра;
- через 2 мин после ввода реагентов — разрыв пространственной сетки с формированием четкой границы раздела фаз и отдельно плавающими хлопьями в осветленной жидкости;
- через 10 мин после начала осаждения;
- через 25 мин после начала осаждения.



Рис. 1. Процесс коагуляции в лабораторных при оптимальных параметрах (морская вода 7,5 % + 130 мг/л 10 % раствора карбоната натрия, температура 42 °С)

Источник: фото С.Б. Кунденюк.

Figure 1. Coagulation process in the laboratory at optimal parameters (7.5 % sea water + 130 mg/l of 10 % sodium carbonate solution, temperature 42°C)

Source: photo by S.B. Kundenok.

Результаты эффективности очистки второго и третьего этапов исследования представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Показатели загрязняющих веществ в стоках до и после осаждения белков

Способ обработки сточных вод		Показатели загрязнений			
		Взвешенные вещества, мг/л		БПК ₅ , мг/л	
Эксперимент	Контроль	Эксперимент	Контроль	Эксперимент	Контроль
Образец 1 5 % морской воды***; + 10 % раствор карбоната натрия, доза 120 мг/л	5 % — дистиллята; + 10 % раствор полиоксихлорид алюминия, доза 110 мг/л; + 1 % раствор Праестол 852 BC доза 1,5 мг/л; + 10 % раствор карбоната натрия, доза 11 мг/л	$1029 \pm 3,5^*$ $15,9 \pm 0,2^{**}$	$1032 \pm 3,1$ $15,8 \pm 0,2$	$887 \pm 3,3$ $291 \pm 2,6$	$887 \pm 3,3$ $220 \pm 2,9$
Образец 2 10 % морской воды; + 10 % раствор карбоната натрия, доза 138 мг/л	10 % — дистиллята; + 10 % раствор полиоксихлорида алюминия, доза 101 мг/л; + 1 % раствор праестол 852BC, дозой 1,5 мг/л; + 10 % раствор карбоната натрия, доза 107 мг/л	$976 \pm 3,4$ $15,8 \pm 0,1$	$975 \pm 3,4$ $15,7 \pm 0,1$	$838 \pm 3,3$ $72,5 \pm 2,7$	$838 \pm 3,1$ $211 \pm 2,7$
Образец 3 15 % морской воды; + 10 % раствор карбоната натрия, доза 147 мг/л	15 % — дистиллят; + полиоксихлорида алюминия, доза 97 мг/л, + 1 % раствор Праестол 852BC, дозой 1,5 мг/л; + 10 % раствор карбоната натрия, доза 101 мг/л	$921 \pm 3,2$ $15,7 \pm 0,1$	$919 \pm 3,1$ $15,7 \pm 0,2$	$792 \pm 3,0$ $68,7 \pm 2,5$	$792 \pm 3,3$ $191 \pm 2,7$

* — в числителе дроби — исходные концентрации загрязнений сточных вод;

** — в знаменателе дроби — концентрации загрязнений сточных вод после реагентной обработки;

*** — приготовлено из морской соли (концентрация ионов Ca²⁺ — 0,41 мг/л, а Cl⁻ — 18,7 мг/л).

Источник: составлено С.Б. Кунденко, В.Н. Волковой, Д.Л. Марковым, А.С. Финкельштейн, И.М. Казанцевым.

Table 2. Indicators of pollutants in wastewater before and after precipitation of proteins

Wastewater treatment method		Pollution indicators			
		Suspended solids, mg/l		BOD ₅ , mg/l	
Experiment	Control	Experiment	Control	Experiment	Control
Sample 1 5% sea water***; + 10% sodium carbonatesolution, dose 138 mg/l	5% distillate; + 10% aluminum polyoxychloride solution, dose 110 mg/l; + 1% flocculant Praestol 852BC dose 1.5 mg/l; + 10% sodium carbonate solution, dose 111 mg/l	$1029 \pm 3.5^*$ $15.9 \pm 0.2^{**}$	1032 ± 3.1 15.8 ± 0.2	887 ± 3.3 291 ± 2.6	887 ± 3.3 220 ± 2.9

Table 2. Ending

Wastewater treatment method		Pollution indicators			
		Suspended solids, mg/l		BOD ₅ , mg/l	
Experiment	Control	Experiment	Control	Experiment	Control
Sample 2 10% sea water; + 10% sodium carbonate solution, dose 120 mg/l	10% distillate; + 10% aluminum polyoxochloride solution, dose 101 mg/l; + 1% flocculant Praestol 852BC dose 1.5 mg/l; + 10% sodium carbonate solution, dose 107mg/l	976 ± 3.4 15.8 ± 0.1	975 ± 3.4 15.7 ± 0.1	838 ± 3.3 72.5 ± 2.7	838 ± 3.1 211 ± 2.7
Sample 3 15% sea water; + 10% sodium carbonate solution, dose 147 mg/l	15% — distillate; + 10% aluminum polyoxochloride solution, dose 97 mg/l; + 1% flocculant Praestol 852BC dose 1.5 mg/l; + 10% sodium carbonate solution, dose 127 mg/l	921 ± 3.2 15.7 ± 0.1	919 ± 3.1 15.7 ± 0.2	792 ± 3.0 68.7 ± 2.5	792 ± 3.3 191 ± 2.7

* — in the numerator of the fraction — the initial concentrations of wastewater pollution;

** — in the denominator of the fraction is the concentration of wastewater pollution after reagent treatment;

***— made from sea salt (concentration of Ca²⁺ ions — 0.41 mg/l, and Cl⁻ — 18.7 mg/l).

Source: compiled by S.B. Kundenok, V.N. Volkova, D.L. Markov, A.S. Finkelshtein, I.M. Kazantcev.

Таблица 3. Показатели эффективности очистки загрязнений сточных вод при оптимальных показателях

№	Показатели	Исходные показатели загрязнений	Показатели загрязнений после очистки	Эффект очистки, %
1	Температура, °C	42–44	40–42	–
2	pH	7,5–7,8	7,9–8,5 (хлопьеобразования)	–
3	Взвешенные вещества, мг/л	1012 ± 0,3	15,8 ± 0,1	98,4 %
4	БПК ₅ мг/л	862 ± 3,3	87 ± 3,1	89,9 %

Источник: составлено С.Б. Кунденюк, В.Н. Волковой, Д.Л. Марковым, А.С. Финкельштейн, И.М. Казанцевым.

Table 3. Indicators of the effectiveness of wastewater pollution treatment at optimal rates

№	Indicators	Baseline pollution indicators	Indicatorsof contamination after cleaning	The cleaning effect, %
1	Temperature, °C	42–44	40–42	–
2	pH	7.5–7.8	7.9–8.5 (flocculation)	–
3	Suspended solids, mg/l	1012 ± 0.3	15.8 ± 0.1	98.4 %
4	BOD ₅ , mg/l	862 ± 3.3	87 ± 3.1	89.9 %

Source: compiled by S.B. Kundenok, V.N. Volkova, D.L. Markov, A.S. Finkelshtein, I.M. Kazantcev.

Разработаны параметры коагуляции, при которой протекает классический процесс хлопьеобразования, в качестве катионов использовались ионы кальция морской воды и технической соды, анионов — хлориды и сульфаты морской воды.

В табл. 4 приведены результаты гранулометрического анализа взвешенных частиц в сточных водах пищевого производства до и после реагентной обработки на анализаторе частиц Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch, Германия) (исходные сточные воды и вода после осаждения). В исходных стоках преобладают мелкодисперсные частицы — доля фракций менее 10 мкм (PM10) превышает 50 %, что обуславливает их высокую стабильность в водной среде и затрудняет естественное осаждение. После коагуляции наблюдается значительное увеличение размеров агрегатов: доля фракций более 600 мкм достигает от 50 до 90 %, а медианный диаметр возрастает до 696,2–1208,2 мкм. Полученные данные свидетельствуют об эффективном хлопьеобразовании, способствующем последующему отделению загрязнителей и снижению экологической опасности сточных вод. Это подтверждает целесообразность применения реагентной коагуляции в составе технологии очистки белоксодержащих производственных стоков.

По итогам исследований авторами статьи разработаны мероприятия, конструкторско-технологические решения (рис. 2) и рекомендации к проектированию локальных очистных сооружений сточных вод, обеспечивающие эффективную работу оборудования:

- совместно с пищевыми технологами разработан режим мойки пищевого оборудования;

- барабанную решетку исключили из схемы очистки, так как производственные сточные воды не содержат крупных включений, а сетка барабана будет забиваться белками;

- запроектирована индивидуальная конструкция накопителя. Корпус емкости тепло- и теплоизолировали, водную поверхность перекрыли сэндвич-панелями, оборудовали системой принудительной вентиляции для удаления избыточной влажности и специфических запахов. Дополнительно к механическим мешалкам предусмотрена подача воздуха, который замедляет процессы анаэробного брожения. Для удаления осадка и полного опорожнения накопителя предусмотрен перфорированный трубопровод, расположенный вдоль днища;

- разработана схема автоматизации работы двух напорных флотаторов, а вместо параллельного — предусмотрено последовательное включение подающих стоки насосов от датчиков уровня, которые размещаются на разных уровнях в усреднителе сточных вод, а их высотное положение можно корректировать в ходе пуско-наладочных работ. Дополнительно предусмотрен контроль по датчику температуры.

Технический результат, проявляющийся при решении поставленной задачи, выражается в следующем:

- повышении эффективности осветления коагулированных сточных вод за счет разработки инновационного способа физико-химической очистки и индивидуальных конструктивных решений накопителя с учетом температурного фактора;

- разработке элементов автоматизации технологического процесса, позволяющих в процессе эксплуатации регулировать объем подачи стоков на очистку.

Таблица 4. Гранулометрический состав взвешенных частиц до и после реагентной обработки

Преобладающая доля микрочастиц (Q3(x)), %	Фракция (x), μm	Сумма фракций, %	Гранулометрический состав взвешенных частиц				
			1*	2	3	4	5
	до/после	до/после	до/после				
10	1,4/2,3	22,5/16,0	1,4/2,3	1,0/1,8	0,9/1,5	0,8/1,6	0,8/2,0
20	2,5/5,3	23,4/23,2	2,5/5,3	1,8/4,5	1,6/3,7	1,5/4,9	1,4/7,2
30	3,8/9,0	24,9/21,0	3,8/9,0	2,6/7,8	2,3/7,0	2,2/9,4	2,0/12,6
40	5,5/13,5	26,8/182,5	5,5/13,5	3,6/13,5	3,1/11,2	3,0/18,5	2,8/751,8
50	7,8/696,2	28,6/7,1	7,8/696,2	5,0/803,9	4,3/751,6	4,1/817,9	3,8/855,1
60	10,9/858,7	29,3/3,1	10,9/858,7	6,8/902,9	6,0/870,0	5,7/909,8	5,3/935,6
70	14,9/959,9	27,7/2,0	14,9/959,9	9,4/989,3	8,6/964,6	8,0/993,6	7,5/1013,3
80	20,0/1064,9	23,5/1,4	20,0/1064,9	13,5/1087,0	12,6/1066,1	12,1/1089,9	10,8/1104,6
90	27,6/1208,2	12,7/1,1	27,6/1208,2	21,9/1223,5	20,6/1206,5	21,1/1225,3	19,6/1241,8

* здесь и далее цифрами от 1 до 5 отображаются повторности отбора проб.

Источник: составлено С.Б. Кунденко, В.Н. Волковой, Д.Л. Марковым, А.С. Финкельштейн, И.М. Казанцевым.

Table 4. Granulometric composition of suspended particles before and after reagent treatment

The predominant proportion of microparticles (Q3(x)), %	Fraction (x), μm	The sum of fractions, %	Granulometric composition of suspended particles				
			1*	2	3	4	5
	before/after	before/after	before/after				
10	1.4/2.3	22.5/16.0	1.4/2.3	1.0/1.8	0.9/1.5	0.8/1.6	0.8/2.0
20	2.5/5.3	23.4/23.2	2.5/5.3	1.8/4.5	1.6/3.7	1.5/4.9	1.4/7.2
30	3.8/9.0	24.9/21.0	3.8/9.0	2.6/7.8	2.3/7.0	2.2/9.4	2.0/12.6
40	5.5/13.5	26.8/182.5	5.5/13.5	3.6/13.5	3.1/11.2	3.0/18.5	2.8/751.8
50	7.8/696.2	28.6/7.1	7.8/696.2	5.0/803.9	4.3/751.6	4.1/817.9	3.8/855.1
60	10.9/858.7	29.3/3.1	10.9/858.7	6.8/902.9	6.0/870.0	5.7/909.8	5.3/935.6
70	14.9/959.9	27.7/2.0	14.9/959.9	9.4/989.3	8.6/964.6	8.0/993.6	7.5/1013.3
80	20.0/1064.9	23.5/1.4	20.0/1064.9	13.5/1087.0	12.6/1066.1	12.1/1089.9	10.8/1104.6
90	27.6/1208.2	12.7/1.1	27.6/1208.2	21.9/1223.5	20.6/1206.5	21.1/1225.3	19.6/1241.8

* Here and further, the numbers from 1 to 5 indicate the number of repetitions of the study.

Source: compiled by S.B. Kundenok, V.N. Volkova, D.L. Markov, A.S. Finkelshtein, I.M. Kazantsev.

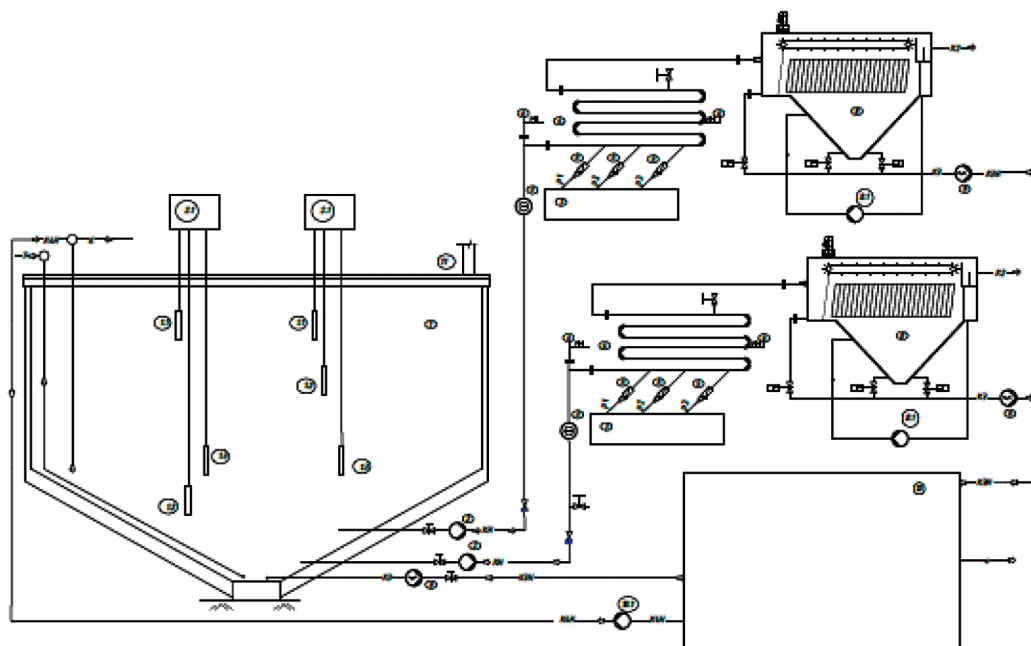


Рис. 2. Схема реконструкции локальных очистных сооружений:

- 1 — накопитель сточных вод; 1.1 — датчик верхнего уровня воды; 1.2 — датчик нижнего уровня воды; 1.3 — датчик температуры; 2 — канализационный насос; 2.1 — шкаф управления работой насоса; 3 — электрифицированный расходомер; 4 — коагулятор; 5 — насос-дозатор; 6 — датчик pH; 7 — узел приготовления реагентов; 8 — реагентный флотатор; 8.1 — рециркуляционный насос; 9 — шнековый насос осадка; 10 — узел обработки флотопены и осадка; 10.1 — насос возврата фугата в накопитель; 11 — патрубок подключения накопителя к системе вентиляции; P1; P2; P3 — трубопроводы подачи реагентов; K — трубопровод производственных сточных вод; KH — напорный трубопровод сточных вод; K2 — трубопровод очищенных сточных вод; K3 — всасывающий трубопровод осадка; K3H — напорный трубопровод осадка; K4H — напорный трубопровод возврата фугата в накопитель; O — осадок на вывоз; T — воздуховод

Источник: составлено С.Б. Кунденок; В.Н. Волкова.

Figure 2. Reconstruction scheme of local sewage treatment plants

- 1 — waste water storage; 1.1 — upper water level sensor; 1.2 — lower water level sensor; 1.3 — temperature sensor; 2 — sewage pump; 2.1 — pump control cabinet; 3 — electrified flowmeter; 4 — coagulator; 5 — metering pump; 6 — pH sensor; 7 — reagent preparation unit; 8 — reagent flotation device; 8.1 — recirculation pump; 9 — screw sludge pump; 10 — flotation foam and sludge treatment unit; 10.1 — fugate return pump to the storage unit; 11 — pipe connecting the storage unit to the ventilation system; P1; P2; P3 — reagent supply pipelines; K — industrial wastewater pipeline; KH — pressure sewage pipeline; K2 — treated wastewater pipeline; K3 — sludge suction pipeline; K3H — sludge pressure pipeline; K4H — pressure return pipeline to the storage tank; O — sludge for export; T — air duct

Source: compiled by the S.B Kundenok., V.N. Volkova.

В результате разработанного метода очистки выделенные белки в осадок и флотопену не содержат солей алюминия или железа и могут быть использованы в приготовлении грунта для озеленения после обеззараживания, например препаратом «Полиаминол» [13].

Заключение

В научно-исследовательской работе рассматривается анализ воздействующих факторов и поиск новых экологических решений реагентной технологии обработки сточных вод производства пищевого продукта, в состав которого входят растительный и животный белок. Экспериментально определены эффективные режимы процесса физико-химической очистки разработанного авторами способа коагуляции. В качестве реагентов рекомендуется использовать сухие морские соли, поставляемые для бассейнов и карбонат натрия при температуре стока 42–44 °С.

Рассмотренные элементы задачи говорят о том, что выявление эффективных и при этом экономичных условий реагентной обработки требует индивидуального подхода к каждому виду сточных вод.

Проведенные исследования позволили определить критические температурные параметры процесса, установить оптимальное соотношение реагентов, выявить эффективные технологические режимы коагуляции, сформировать базу данных для дальнейшей оптимизации процесса очистки.

Полученные экспериментальные результаты создали основу для разработки эффективной технологии очистки сточных вод производства витаминизированных молочно-соевых концентратов.

Список литературы

- [1] Волкова В.Н., Дудник Н.А., Казанцев И.М. Влияние технологических процессов очистных сооружений на видовой состав активного ила // Актуальные вопросы развития современной науки : монография. Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2025. С. 53–84. <http://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-4/105-114> EDN: LOARKM
- [2] Байбородин А. М. Локальная очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий методом коагуляции : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03. Архангельск, 2014. 134 с.
- [3] Назаренко В.А., Антонович В.П., Невская Е.М. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах. Москва : Атомиздат, 1979. 192 с.
- [4] Zhang Z., Wang J., Liu D., Li J., Wang X., Song B., Yue B., Zhao K., Song Y. Hydrolysis of polyaluminum chloride prior to coagulation: Effects on coagulation behavior and implications for improving coagulation performance // Journal of Environmental Sciences (China). 2017. Vol. 57. P. 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.10.014>
- [5] Roussy J., Van Vooren M., Dempsey B.A., Guibal E. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions // Water Research. 2005. Vol. 39. Iss. 14. P. 3247–3258. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.039>
- [6] Надысев В.С. Очистка сточных вод предприятий масло-жировой промышленности. Москва : Пищевая промышленность, 1976. 183 с.
- [7] Ebeling J.M., Sibrell P.L., Ogden S.R., Summerfelt S.T. Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge // Aquacultural Engineering. 2003. Vol. 29, Iss. 1–2. P. 23–42. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00029-3)

- [8] Narkis N., Rebhum M. Flocculation in present of organic macromolecules of natural water and secondary effluents // *Water Science and Technology*. 1997. Vol. 36. Iss. 4. P. 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00423-X](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00423-X)
- [9] Проскура В.Е., Кашина Е.С., Галяметдинов Ю.Г. Флокуляция модельных дисперсных систем природными полисахаридами, ионогенными сополимерами акриламида и гибридами на их основе // *Вестник технологического университета*. 2017. Т. 20. № 20. С. 22–25. EDN: ZXFJEN
- [10] Кунденок С.Б., Волкова В.Н. Технология очистки ливневых вод причальных сооружений перевалки древесины // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2024. Т. 32. № 4. С. 422–430. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430> EDN: NINDLF
- [11] Волкова В.Н., Кунденок С.Б., Волков Д.В. Методы соосаждения тяжелых металлов в сточных водах гальванического производства ионами магния и кальция морской воды // *Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2020. № 4 (45). С. 85–95. <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-9> EDN: EMBRXM
- [12] Кириченко К.Ю., Волкова В.Н., Чайка В.В., Голохваст К.С. Гранулометрический состав микроразмерных частиц комплексного состава, образующихся при техногенном воздействии на морскую среду // *Технологии безопасности жизнедеятельности*. 2023. № 3. С. 49–55. EDN: KVVIMB
- [13] Волкова В.Н., Дудник Н.А., Казанцев И.М., Кунденок С.Б. Исследование влияния препарата «Полиаминол» на видовой состав активного ила // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2024. № 4 (61). С. 105–114. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-4/105-114> EDN: ETRSNZ

References

- [1] Volkova VN, Dudnik NA, Kazantsev IM. The influence of technological processes of sewage treatment plants on the species composition of activated sludge. *Current Issues in the Development of Modern Science: Monograph*. Penza: Nauka i Prosveshchenie (Gulyaev G. Yu. Publ.); 2025. p. 53–84. (In Russ.). <http://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-4/105-114>
- [2] Baiborodin AM. Local wastewater treatment at pulp and paper enterprises by coagulation method (abstract of the dissertation). Arkhangelsk; 2014. 134 p. (In Russ.)
- [3] Nazarenko V.A., Antonovich V.P., Nevskaya E.M. Hydrolysis of metal ions in dilute solutions. Moscow: Atomizdat Publ.; 1979. 192 p. (In Russ.)
- [4] Zhang Z, Wang J, Liu D, Li J, Wang X, Song B, Yue B, Zhao K., Song Y. Hydrolysis of polyaluminum chloride prior to coagulation: Effects on coagulation behavior and implications for improving coagulation performance. *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2017;57:162–169. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.10.014>
- [5] Roussy J, Van Vooren M, Dempsey BA, Guibal E. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions. *Water Research*. 2005;39(14):3247–3258. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.039>
- [6] Nadyshev VS. *Wastewater treatment of fat and oil industry enterprises*. Moscow: Pishchevaya Promyshlennost Publ.; 1976. 183 p. (In Russ.)
- [7] Ebeling JM, Sibrell PL, Ogden SR, Summerfelt ST. Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering*. 2003;29(1–2):23–42. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00029-3)

- [8] Narkis N, Rebhun M. Flocculation in presence of organic macromolecules of natural water and secondary effluents. *Water Science and Technology*. 1997;36(4):85–91. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00423-X](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00423-X)
- [9] Proskurina VE, Kashina ES, Galyametdinov YuG. Flocculation of model dispersed systems using natural polysaccharides, ionogenic copolymers of acrylamide and their hybrids. *Herald of Technological University*. 2017;20(20):22–25. (In Russ.) EDN: ZXFJEN
- [10] Kundenok SB, Volkova VN. Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):422–430. (In Russ.). <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430> EDN: NINDLF
- [11] Volkova VN, Kundenok SB, Volkov DV. Methods for coprecipitation of heavy metals in waste waters of galvanic production with magnesium and calcium ions of seawater. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2020;(4):85–95. (In Russ.) <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-9> EDN: EMBRXM
- [12] Kirichenko KYu, Volkova VN, Chaika VV, & Golokhvast KS. (2023). Granulometric composition of suspended particles formed during anthropogenic impact on the marine environment. *Life Safety / Security Technologies*, (3), 49–55. (In Russ.) EDN: KVVIMB
- [13] Volkova VN, Dudnik NA, Kazanetsev IM, Kundenok SB. Study of the effect of the preparation “Polyaminol” on the species composition of activated sludge. *Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin*. 2024;(4):105–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-4/105-114> EDN: ETRSNZ

Сведения об авторах:

Кунденок Светлана Борисовна, старший преподаватель, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0000-0002-2118-2718; eLIBRARY SPIN-код: 1519-4482. E-mail: 14sveta65@mail.ru

Волкова Владислава Николаевна, кандидат технических наук, доцент, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858; eLIBRARY SPIN-код: 1519-4482. E-mail: vladavibi@bk.ru

Марков Данил Леонидович, магистр, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0009-0007-5504-5440. E-mail: markov.dl@dvfu.ru

Финкельштейн Артём Сергеевич, магистр, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0009-0004-7694-3774. E-mail: finkelshtein.as@dvfu.ru

Казанцев Илья Максимович, магистр, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0009-0008-0558-0725; eLIBRARY SPIN-код: 5749-3381. E-mail: kazantcev.im@dvfu.ru

Bio notes:

Svetlana B. Kundenok, Senior Lecturer, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, PolyRusky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2118-2718; eLIBRARY SPIN-code: 1519-4482. E-mail: 14sveta65@mail.ru

Vladislava N. Volkova, Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9078-9858; eLIBRARY SPIN-code: 1519-4482. E-mail: vladavibi@bk.ru

Danil L. Markov, graduate student, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0009-0007-5504-5440. E-mail: markov.dl@dvfu.ru

Artem S. Finkelshtein, graduate student, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0009-0004-7694-3774. E-mail: finkelshtein.as@dvfu.ru

Ilya M. Kazantsev, graduate student, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0009-0008-0558-0725; eLIBRARY SPIN-code: 5749-3381. E-mail: kazantsev.im@dvfu.ru