Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-3-96-103 Оригинальная статья/Research article
УДК 633.494 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Практическое обоснование способа регенерации щелочного моющего раствора пивоваренного производства с использованием флокулянтов

Виталий Ю. Овсянников [1] ows2003@mail.ru. 0000-0001-9388-6303
Андрей И. Ключников [2] kaivanov@mail.ru 0000-0002-8161-0040
Алексей В. Прибытков [3] pribytkov_aleks@mail.ru 0000-0002-8157-3681

1 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)», ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия
3 Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, д. 54 а, г. Воронеж, Воронежская обл., 394064, Россия

Аннотация. Статья посвящена разработке ресурсосберегающего метода регенерации щелочных моющих растворов (ЩМР) для мини-пивоварен. Основное внимание уделено флокуляционной очистке как экономичной альтернативе утилизации. Целью работы был подбор реагентов и параметров для интеграции технологии в существующие системы CIP. Экспериментально изучена эффективность катионных флокулянтов («Magnafloc 380», «Гринлайф К45») в высокощелочной среде. Установлены оптимальные условия: дозировка 3,6–4 г/кг загрязнений, энергозатраты 0,04–0,1 Вт/кг, время обработки 240–450 с. Наилучший результат показал «Гринлайф К45». Метод обеспечивает удаление 90–95% взвесей за 30 минут седиментации и снижение мутности на 95%, позволяя продлить цикл использования ЩМР в 4–6 раз. На основе полученных данных авторами предложена практичная аппаратурно-технологическая схема регенерации. Она предполагает дооснащение стандартной передвижной CIP-станции смесителем для ввода флокулянта, емкостью для отстаивания и самопромывным фильтром для окончательного отделения осадка. Регенерированный раствор возвращается в оборот с возможностью корректировки концентрации. Схема обеспечивает визуальный контроль, не требует сложного оборудования и может быть реализована на действующих производствах. Таким образом, работа доказывает технико-экономическую и экологическую целесообразность внедрения флокуляционной регенерации ЩМР на мини-пивоварнях. Ключевыми преимуществами являются прямая экономия на воде и реагентах, сокращение объема высокощелочных сточных вод и снижение нагрузки на локальные очистные сооружения..

Ключевые слова: щелочной моющий раствор, регенерация, флокулянт, мини-пивоварня, CIP-мойка, ресурсосбережение, очистка стоков.

Practical justification of the method for regenerating alkaline cleaning solution for brewing production using flocculants

Vitaly Yu. Ovsyannikov [1] ows2003@mail.ru. 0000-0001-9388-6303
Andrey I. Klyuchnikov [2] kaivanov@mail.ru 0000-0002-8161-0040
Alexey V. Pribytkov [3] pribytkov_aleks@mail.ru 0000-0002-8157-3681

1 Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky, Zemlyanoy Val St., 73, Moscow,Russia
2 Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First Cossack University), Zemlyanoy Val St., 73, Moscow, 109004, Russia
3 Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after prof. N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», Starykh Bolshevikov St., 54a, Voronezh, Voronezh Region, 394064, Russia

Abstract. The article is devoted to the development of a resource-saving method for the regeneration of alkaline cleaning solutions (ACS) for mini-breweries. The main focus is on flocculation treatment as a cost-effective alternative to disposal. The aim of the study was to select reagents and parameters for integrating the technology into existing CIP systems. The efficiency of cationic flocculants (Magnafloc 380, Greenlife K45) in a highly alkaline environment was experimentally studied. Optimum conditions were established: dosage of 3.6–4 g/kg of contaminants, energy consumption of 0.04–0.1 W/kg, processing time of 240–450 s. Greenlife K45 showed the best result. The method ensures the removal of 90–95% of suspended solids within 30 minutes of sedimentation and a 95% reduction in turbidity, allowing to extend the ACS use cycle by 4–6 times. Based on the obtained data, the authors proposed a practical hardware and technological scheme for regeneration. It involves retrofitting a standard mobile CIP station with a mixer for adding flocculant, a settling tank, and a self-cleaning filter for final sediment separation. The regenerated solution is recycled, with the ability to adjust its concentration. The system provides visual control, requires no complex equipment, and can be implemented in existing production facilities. Thus, the study demonstrates the technical, economic, and environmental feasibility of implementing flocculation-based AMR regeneration in minibreweries. Key benefits include direct savings on water and reagents, a reduction in the volume of highly alkaline wastewater, and a reduced load on local treatment facilities.

Keywords: alkaline cleaning solution, regeneration, flocculant, mini-brewery, CIP-cleaning, resource conservation, wastewater treatment.

Для цитирования
Овсянников В. Ю., Ключников А. И., Прибытков А. В. Практическое обоснование способа регенерации щелочного моющего раствора пивоваренного производства с использованием флокулянтов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 96–103. doi:10.20914/2310-1202-2025-3-96-103

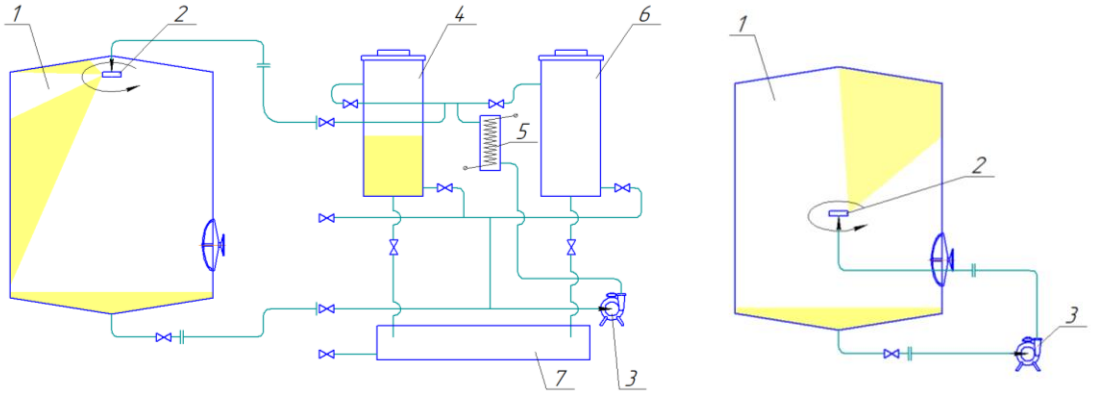
For citation
Ovsyannikov V. Yu., Klyuchnikov A. I., Pribytkov A. V. Practical justification of the method for regenerating alkaline cleaning solution for brewing production using flocculants. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 96–103. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-96-103

© 2025, Овсянников В. Ю. и др. / Ovsyannikov V. Yu. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Мойка технологического оборудования на предприятиях малой мощности в настоящее время производится с использованием передвижной CIP-станции (рис. 1, а) или в циркуляционном режиме (рис. 1, б). В первом случае моющий щелочной раствор после мойки собирают в емкости *4* для последующего его использования в следующем цикле мойки. При этом для его подогревания до рабочей температуры 75…80 ^{0}C используют электрический подогреватель проточного типа *5*. В зависимости от степени загрязнения технологического оборудования количество циклов мойки может варьироваться от 3 до 7, после чего моющий щелочной раствор приготавливают заново.

При отсутствии CIP-станции мойку технологического оборудования производят в циркуляционном режиме при помощи центробежного насоса *3*, многократно наносящего моющий щелочной раствор на стенки танка, при этом его температура постепенно снижается. В этом случае, моющий щелочной раствор используется только один раз, после чего утилизируется (т.н. «потерянная мойка»).



а) б)

Рисунок 1. Схемы мойки технологического оборудования пивоварни: а) с использованием передвижной CIP-станции; б) в циркуляционном режиме: 1 – емкость; 2 – вращающаяся форсунка; 3 – насос; 4 – емкость оборотного моющего щелочного раствора; 5 – электрический нагреватель проточного типа; 6 – емкость оборотного дезинфицирующего раствора (не используется); 7 – емкость для нейтрализации щелочного раствора.

Figure 1. Schemes for cleaning the process equipment of a brewery: a) using a mobile CIP station; b) in circulation mode: 1 - tank; 2 - rotating nozzle; 3 - pump; 4 - tank for circulating alkaline cleaning solution; 5 - flow-through electric heater; 6 - tank for circulating disinfectant solution (not used); 7 - tank for neutralizing the alkaline solution.

Следует отметить, что за счет переработки и очистки щелочного моющего раствора создаются значительные предпосылки снижения экологической нагрузки на окружающую среду [1 – 5]. Учитывая, что большинство минипивоваренных заводов расположены в городской черте, данная проблема становится особенно актуальной. Увеличение срока использования щелочного моющего раствора приводит к значительной экономии применяемого концентрата, например, «Компомол-Щ Калгон», а также снижению потребления воды, снижению экологической нагрузки и практически полному контролю грязевых стоков.

Отработанные щелочные моющие растворы и промывные воды в пивоварении очищают и восстанавливают различными способами, такими как простое отстаивание, ускоренное осаждение взвесей за счет использования флокулянтов, применение осадительного центрифугирования, фильтрационная обработка вод с предварительной частичной очисткой посредством флокуляции и химического окисления [5 – 10].

Неоспоримым достоинством процесса флокуляционной обработки щелочного моющего раствора является извлечение веществ коллоидной природы, размером менее 1 мкм, относительная дешевизна по сравнению с очисткой фильтрованием и центрифугированием. Однако, к используемым флокулянтам предъявляется набор требований, таких как пригодность для использования в пищевой промышленности с точки зрения токсикологической безопасности, возможность работы при температурах до 80 °C и величине активной кислотности pH в интервале 11…12 без потери своих функциональных характеристик[11 – 13].

Следует отметить, что флокулянты природного происхождения не нашли широкого применения для очистки промышленных сточных вод из-за ограниченности сырьевой базы и сравнительно низкой молекулярной массы. Синтетические водорастворимые полимеры «Technopam», «Zetag», «Flopam», «Technofloc», «Specfloc», «Besfloc», «Superfloc», «Praestol», «Nalco» и др. фирм-производителей «Kemira»

(Финляндия), «Kolon Life Science» (Южная Корея), «SNF» (Франция), «Solenis» (Нидерланды), «Technowater» (Россия), «Basf» (Северная Америка), «Clariant» (Швейцария), «Nalco» (Франция) и др., получаемые на основе различныхвиниловых мономеров, являются самыми распространенными реагентами, применяемыми в процессах очистки. Благодаря широким возможностям варьирования свойств флокулянтов (химического состава, молекулярной массы, пространственной структуры), достигаемым изменением исходных мономеров, условий и способов синтеза, возможно применение в различных технологических процессах, в т.ч. очистке щелочных стоков.

Катионные флокулянты («Magnafloc 380», «Гринлайф К20 ПВ», «Гринлайф К35», «Гринлайф К40» и др.) – это вещества, которые при добавлении в воду образуют положительно заряженные частицы (катионы). Они используются для улучшения процесса флокуляции (объединения мелких частиц в крупные агрегаты) в различных промышленных процессах и при очистке воды. Катионные флокулянты обычно образуют более прочные связи между частицами, что делает их более эффективными при обезвоживании.

Аннионные флокулянты («Magnafloc ЛТ 27», «Magnafloc 336», «Magnafloc 5250» и др.) – это вещества, которые при добавлении в воду образуют отрицательно заряженные частицы (анионы). Они также используются для улучшения процесса флокуляции в различных промышленных процессах. Анионные флокулянты обычно используются в тех случаях, когда необходимо уменьшить заряд частиц, чтобы улучшить их флокуляцию. Они также могут использоваться для удаления ионов металлов из воды.

Флокулянты вышеперечисленных марок применяют для очистки оборотных и сточных вод; обезвоживания осадка в коммунальном хозяйстве и промышленности, системах очистки питьевой воды и в других областях, где требуется двухфазное разделение жидкостей[14 – 15].

Целью настоящей работы являлось практическое обоснование применения катионных ионогенных флокулянтов для очистки щелочного моющего раствора в условиях пивоваренных предприятий малой мощности, а также разработка аппаратурно-технологической схемы регенерации.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились с использованием лабораторной установки, представленной на рисунке 2, состоящей из цилиндрического корпуса с крышкой, двухуровневой лопастной мешалки с приводом, электрического нагревателя и приборов контроля.



Рисунок 2. Лабораторная установка для исследования оптимальных условий взаимодействия флокулянта и моющего щелочного раствора

Figure 2. Laboratory setup for studying optimal conditions for interaction between flocculant and alkaline cleaning solution

В качестве исследуемой жидкости использовали моющий щелочной раствор, собранный из передвижной CIP-станции мини-пивоваренного завода. Щелочной моющий раствор представлял собой разбавленный водой до концентрации 1,5…3,0 % концентрат «Компомол Щ Калгон». Усредненная масса взвешенных твердых частиц составляла 1,0…1,5 г/дм^3, а количество частиц коллоидной дисперсности (менее 10 мкм) было значительным.

Для подбора оптимального флокулянта использовались отечественные продукты «Magnafloc 380» и «Гринлайф К45», полностью соответствующие токсикологической безопасности с точки зрения применения в оборудовании пищевой промышленности.

При проведении исследований ориентировались на диапазон изменения характеристик процесса флокуляционной очистки, в частности: удельные затраты энергии $q = 2 \cdot 10^{-3}$…0,08 Вт/кг; продолжительность процессаτ = 120…750 с.

В качестве критериев эффективности флокуляционной обработки и очистки щелочного моющего раствора от посторонних загрязняющих включений проводили контрольную фильтрацию на мембранной установке с керамическими мембранами с диаметром пор 0,4…0,45 мкм, а также измерение величины экстинции, полученного на основании спектрофотометрического анализа.

Результаты и обсуждение

Два флокулянта «Magnafloc 380» и «Гринлайф К45» показали достаточно хорошие результаты на основании тестовых исследований. Для подбора оптимального количества флокулянта его добавляли в водно-щелочной раствор, имеющий температуру 75…80 °С в различных количествах с продолжительностью пребывания 5 мин и затратами энергии на перемешивание для получения однородной среды 0,017 Вт/кг, при частоте вращения мешалки 200…250 мин$^{-1}$ (рисунок 3).

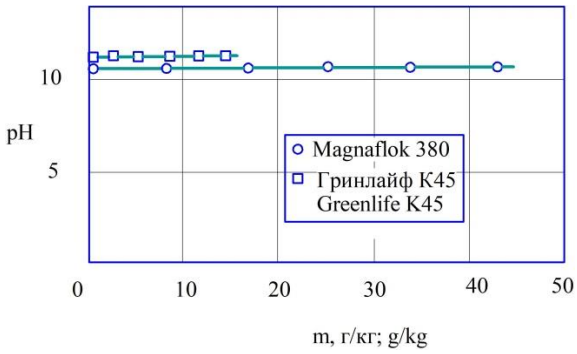


Рисунок 3. Влияние количества флокулянта, *m*, г/кг на величину активной кислотности pH моющего щелочного раствора

Figure 3. The influence of the amount of flocculant, *m*, *g/kg* on the value of active acidity pH of the alkaline washing solution

Здесь следует отметить немаловажную составляющую процесса очистки флокуляцией. Необходимо, чтобы значение pH раствора оставалось неизменным на уровне 11…12, что позволит осуществлять эффективное повторное использование моющего щелочного раствора.

При внесении флокулянта в количестве 3…4 г/кг твердого вещества удалось достигнуть хороших результатов связывания и агломерации примесей. Флокулированные твердые соединения хорошо осаждались, а моющий щелочной раствор становился прозрачным (рисунок 4).

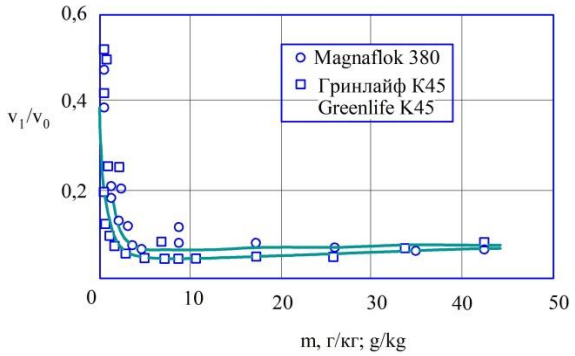


Рисунок 4. Влияние количества флокулянта, *m*, г/кг на соотношение скоростей витания и осаждения v_1/v_0 примесей в моющем щелочном растворе

Figure 4. The influence of the amount of flocculant, m, *g/kg* on the ratio of the rates of soaring and sedimentation v_1/v_0 of impurities in an alkaline detergent solution

Результаты серии испытаний показали, что флокулянт «Гринлайф К45» достиг лучших результатов в плане отделения твердых частиц.

Осуществляли исследования, направленные на изучение влияния количества, вносимого флокулянта на величину удельных затрат энергии, необходимых для реализации процесса осветления моющего раствора (рисунок 5).

Таким образом, показано, что оптимальное количество вносимого флокулянта находится в интервале 3,6…4 г флокулянта на один килограмм твердого вещества которое выдерживали постоянным в дальнейших исследованиях.

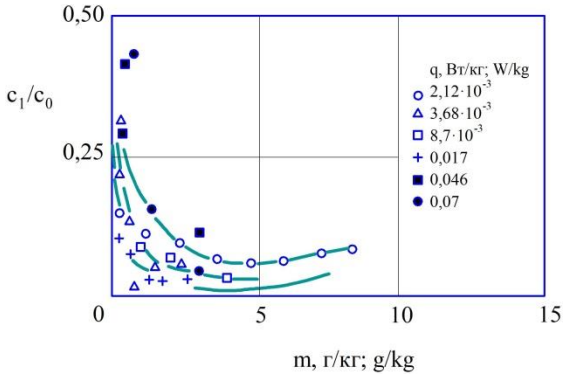


Рисунок 5. Влияние изменения величиныудельных затрат энергии *q*, Вт/кг и количества, вносимого флокулянта на соотношениясодержания твердых веществ в осветленном растворе к содержанию твердых веществ висходном моющем щелочном растворе c_1/c_0.

Figure 5. The effect of changing the value of specific energy consumption *q*, *W/kg*, and the amount of added flocculant on the ratio of the content of solids in the clarified solution to the content of solids in the initial alkaline cleaning solution c_1/c_0.

Установлено, что при средней нагрузке загрязнений 1 г/л к 1 м^3 моющего раствора необходимо добавить около 40...42 г 0,1 % раствора флокулянта.

Исследования влияния продолжительности перемешивания на соотношения содержания твердых веществ в осветленном растворе к содержанию твердых веществ в исходном моющем щелочном растворе показали, что оптимальным для мешалки являлся интервал 240…450 с.

После этого эффективность флокуляционного осаждения снова снижалась, т.к. сформировавшиеся хлопья разрушались, на что указывало повышение соотношения c_1/c_0 (рисунок 6).

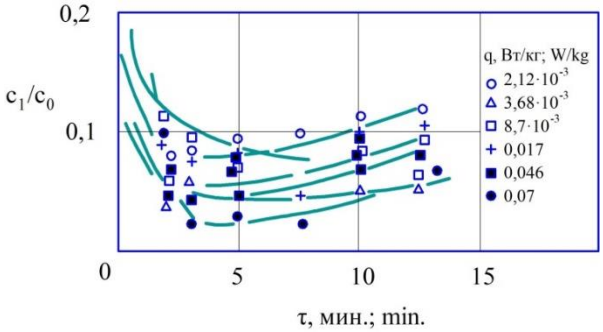


Рисунок 6. Влияние изменения величины удельных затрат энергии *q*, Вт/кг ипродолжительности перемешивания насоотношения содержания твердых веществ в осветленном растворе к содержанию твердых веществ в исходном моющем щелочном растворе c_1/c_0.

Figure 6. The effect of changing the value of specific energy consumption *q, W/kg* and the duration of mixing on the ratio of the content of solids in the clarified solution to the content of solids in the initial alkaline detergent solution c_1/c_0.

На основании графических зависимостей, представленных на рисунке 6 следует заключить, что наиболее благоприятным с точки зрения величины удельных затрат энергии является интервал значений 0,04…0,1 Вт/кг.

В этом интервале около 90…95 % твердых соединений, удаляемых фильтрованием, отделяются седиментацией в течение 30 мин. В случае исключения применения флокулянтов указанная величина была бы равна примерно 50 %. При этом величина экстинции снижается примерно на 95 %, а светопропускание увеличивается (рисунок 7).

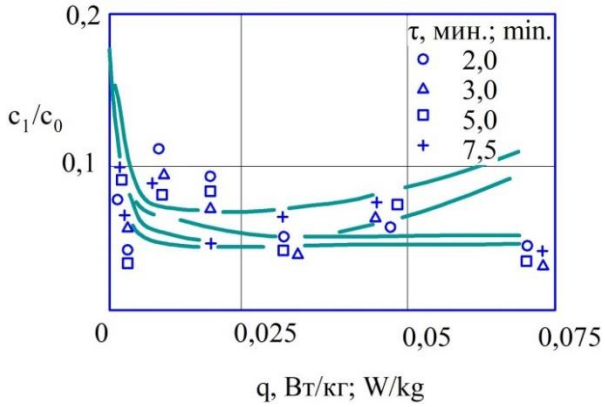


Рисунок 7. Влияние продолжительности перемешивания и изменения величины удельных затрат энергии q, Вт/кг на соотношения содержания твердых веществ в осветленном растворе к содержанию твердых веществ в исходном моющем щелочном растворе c_1/c_0.

Figure 7. The influence of the duration of mixing and the change in the value of specific energy consumption *q, W/kg*, on the ratio of the content of solids in the clarified solution to the content of solids in the initial alkaline cleaning solution c_1/c_0.

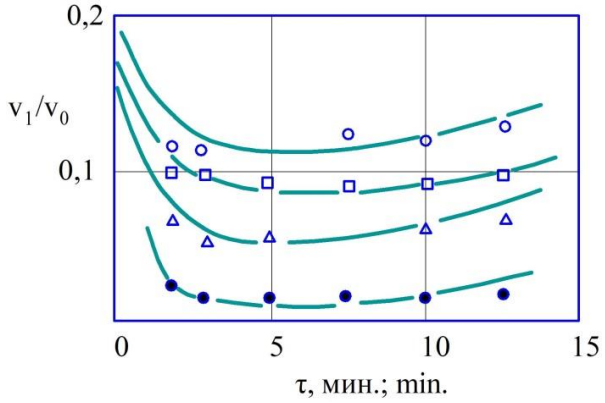


Рисунок 8. Влияние продолжительности обработки τ, мин на соотношение скоростей витания и осаждения v_1/v_0 примесей в моющем щелочном растворе, при различных значениях затрат энергии (обозначения кривых, соответствуют рисунку 6).

Figure 8. The effect of the processing duration τ, min, on the ratio of the rates of soaring and sedimentation v_1/v_0 of impurities in an alkaline cleaning solution, at different values of energy consumption (curve designations correspond to Figure 6).

Основываясь на оценке величины экстинции можно утверждать, что большая часть коллоидных растворенных частиц также выявляется при флокуляционной обработке и может быть успешно отделена в результате их агломерации.

На основании полученных результатов срок эксплуатации щелочного моечного раствора, очищаемого методом флокуляции можно повысить в 4…6 раз. В результате подобной технологии осветления щелочного моечного раствора химическое потребление кислорода снижается приблизительно на 50…60 % по сравнению с окислением щелочных вод не обрабатываемых предварительно флокулянтами и сбрасываемыми в качестве сточных, что существенно облегчает функционирование и снижает затраты водоочистных станций, а также снижает экологическую нагрузку.

Заключение

Проведенные исследования позволили разработать аппаратурно-технологическую схему очистки моющих щелочных растворов минипивоваренных предприятий, представленную на рисунке 9.

В предлагаемой схеме отработанный моющий щелочной раствор после мойки емкости брожения или созревания пива собирают в емкости 4 передвижной CIP-станции.

Для регенерации щелочного моющего раствора его перекачивают в смеситель 1, в который задают заданное количество флокулянта. Образовавшуюся смесь центробежным насосом 2 после выдержки в течение 30…40 мин прокачивают через самопровымные фильтры 3 для удаления осадка, а осветленный щелочной раствор собирают в емкости 4 для повторного использования. Здесь также можно производить корректировку концентрации действующего вещества за счет добавления расчетного количества концентрата «Компомол Щ Калгон». Затем используют регенерированный щелочной раствор для последующих циклов мойки в соответствии с разработанным регламентом санитарной мойки и дезинфекции технологического оборудования.

Отработанный щелочной раствор в случае невозможности регенерации по предлагаемому способу сбрасывают в емкость 7, в которой его нейтрализуют и сбрасывают в канализацию.

Таким образом, визуальный контроль процесса осаждения примесей при флокуляционной очистке щелочного моечного раствора может успешно реализовываться в емкости передвижной CIP-станции или любой емкости, оснащенной смотровыми диоптрами.

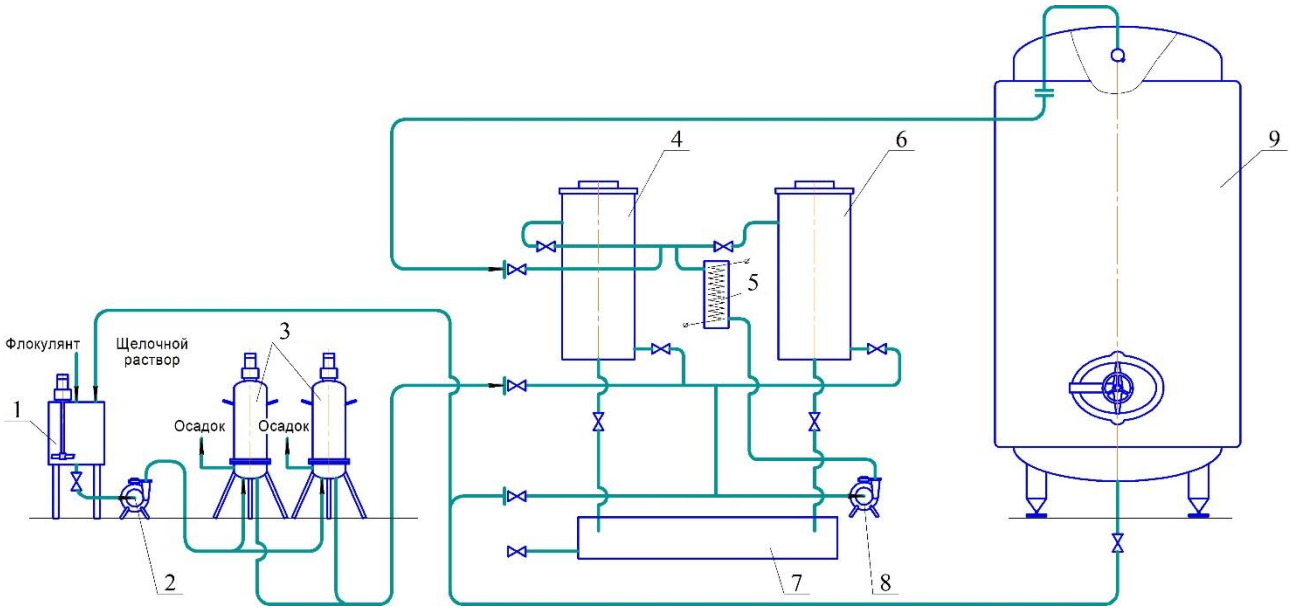


Рисунок 9. Схема регенерации моющего щелочного раствора с использованием флокулянтов: 1 – смеситель; 2 – центробежный насос; 3 – самопромывной фильтр; 4 – емкость оборотного моющего щелочного раствора; 5 – электрический нагреватель проточного типа; 6 – емкость оборотного дезинфицирующего раствора (не используется); 7 – емкость для нейтрализации щелочного раствора; 8 – циркуляционный насос; 9 – емкость для мойки и дезинфекции

Figure 9. Scheme of regeneration of alkaline cleaning solution using flocculants: 1 – mixer; 2 – centrifugal pump; 3 – self-cleaning filter; 4 – tank for circulating alkaline cleaning solution; 5 – electric flow-through heater; 6 – tank for circulating disinfectant solution (not used); 7 – tank for neutralizing alkaline solution; 8 – circulation pump; 9 – tank for washing and disinfection

При этом минимальная продолжительность осветляемого моющего щелочного раствора в емкости должна составлять не менее 30… мин, что обеспечит качественное осаждение примесей.

Использование предложенного технологического решения, несомненно, позволит сократить годовые объемы потребляемой воды и концентрированного щелочного раствора, потребляемого на мини-пивоварне, регенерирующих агентов и нейтрализаторов для обработки образующихся сточных вод, а также позволит снизить негативное экологическое воздействие на окружающую среду.

Литература

1. Ben J., Mohamed A., Muduli K. Optimizing bottle washer performance in cleaning returnable glass bottles for reuse in beverage packaging // Int. J. Adv. Sci. Technol. 2020. V. 29. № 7. P. 8149–8159.
2. Казаков П.С., Неверов Е.Н. Анализ механических способов очистки сточных вод, применяемых на предприятиях // Пищевые технологии: сб. тез. III Междунар. симп., посв. 90-летию со дня рождения Л.А. Остроумова. Кемерово, 2024. С. 515–518.
3. Неверов Е.Н., Горелкина А.К., Схаплок Р.Ю. Анализ современных методов и технологий промышленной водоочистки // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 215–225.
4. Liasota V., Yarmoliuk S., Ivankiv L., Stefanyshyn O., Vishchur O., Gutyj B. Effectiveness of detergents and disinfectants in the production of cow's milk // Ukr. J. Vet. Sci. 2022. V. 13. № 4. P. 25–33.
5. Бойкова Т.Е., Богданович Н.И., Мауричева Т.С. Применение флокулянтов в процессе водоподготовки // Соврем. наукоемк. технол. Регион. прил. 2019. № 1 (57). С. 91–102.
6. Ben J., Mohamed A., Muduli K. Optimizing bottle washer performance in cleaning returnable glass bottles for re-use in beverage packaging // Int. J. Adv. Sci. Technol. 2020. V. 29. № 7. P. 8149–8159.
7. Ульрих Е.В., Баркова А.С. Использование флокулянтов для очистки сточных вод // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6. № 1 (19). С. 168–187.
8. Жусупекова А.Н., Елубай М.А. Комплексная модернизация мойки CIP на пищевом производстве // Науч. журн. 2018. № 11 (34). С. 5–8.
9. Захватов Г.И. Регенерация растворов как метод создания замкнутых технологических циклов // Изв. КазГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 262–265.
10. Николенко И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е. Обоснование параметров рециркуляции в системах водоснабжения автомоек // Стр-во и техног. безоп. 2022. № 24 (76). С. 71–84.
11. Избуллаева М.С., Амонов М.Р., Амонова М.М. Использование флокулянтов в системах очистки сточных вод // Universum: техн. науки. 2023. № 11-5 (116). С. 20–23.
12. Osipova M.V. Use of clarifying agents in technological process of kvass production // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. V. 613. № 1. 012100.
13. Ульрих Е.В. Изучение свойств модифицированных флокулянтов для выделения компонентов сыворотки // Техн. и технол. пищ. пр-в. 2018. № 2. С. 117–128.

14. Ульрих Е.В., Баркова А.С. Использование флокулянтов для очистки сточных вод // Трансформация экосистем. 2023. № 1 (19). С. 168–187.
15. Badawi A.K., Salama R.S., Mostafa M.M.M. Natural-based coagulants/flocculants as sustainable market-valued products for industrial wastewater treatment: a review of recent developments // RSC Adv. 2023. V. 13. № 28. P. 19335–19355.
16. Khan R.A. Detergents // Environmental Micropollutants. Amsterdam: Elsevier, 2022. P. 117–130.
17. Yemiş F., Harmancı N.Y. Classification, uses and environmental implications of disinfectants // Pak. J. Anal. Environ. Chem. 2020. V. 21. № 2. P. 179–192.
18. Iakubchak O., Khomenko V., Dronik A., Bohach T., Chechet O., Nychyk S., Leno M., Matei M., Simon M. The study of the cytotoxic effect of disinfectants // J. Vet. Res. 2023. V. 67. № 1. P. 82–95.
19. Habschied K., Mastanjević K. Maintaining the quality control of beer // International Conference on Organization and Technology of Maintenance (OTO 2021). Cham: Springer, 2021. P. 435–446.
20. Mohamed A., Noreo S. Investigating the root cause of high-water consumption in bottle washing equipment: A case study // Applications of Mathematics in Science and Technology. Boca Raton: CRC Press, 2024. P. 928–933.
21. Lipnizki F., Figueroa R.R. Membrane operations in the sugar and brewing industry // Membrane Systems in the Food Production: Vol. 1: Dairy, Wine and Oil Processing. Berlin: De Gruyter, 2021. P. 95–144.
22. Fernandes P.C.B., Silva J. Brewing By-Products: Source, Nature, and Handling in the Dawn of a Circular Economy Age // Biomass. 2025. V. 5. № 3. P. 49–63.
23. Zacharof M.P. Industrial symbiosis: beer brewery wastewater-based biorefinery // Circ. Econ. Sustain. 2021. V. 1. № 2. P. 593–609.

References

1. Ben J., Mohamed A., Muduli K. Optimizing bottle washer performance in cleaning returnable glass bottles for reuse in beverage packaging. International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. vol. 29. no. 7. pp. 8149–8159.
2. Kazakov P.S., Neverov E.N. Analysis of mechanical methods of wastewater treatment used at enterprises. Food technologies: collection of abstracts of the III International symposium dedicated to the 90th anniversary of the birth of L.A. Ostroumov. Kemerovo, 2024. pp. 515–518. (in Russian)
3. Neverov E.N., Gorelkina A.K., Shkaplok R.Yu. Analysis of modern methods and technologies of industrial water treatment. Polzunovsky vestnik. 2023. no. 3. pp. 215–225. (in Russian)
4. Liasota V., Yarmoliuk S., Ivankiv L., Stefanyshyn O., Vishchur O., Gutyj B. Effectiveness of detergents and disinfectants in the production of cow's milk. Ukrainian Journal of Veterinary Sciences. 2022. vol. 13. no. 4. pp. 25–33.
5. Boikova T.E., Bogdanovich N.I., Maurichеva T.S. Application of flocculants in the water treatment process. Modern high-tech technologies. Regional application. 2019. no. 1(57). pp. 91–102. (in Russian)
6. Ben J., Mohamed A., Muduli K. Optimizing bottle washer performance in cleaning returnable glass bottles for re-use in beverage packaging. International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. vol. 29. no. 7. pp. 8149–8159.
7. Ulrikh E.V., Barkova A.S. Use of flocculants for wastewater treatment. Transformation of ecosystems. 2023. vol. 6. no. 1(19). pp. 168–187. (in Russian)
8. Zhusupbekova A.N., Elubay M.A. Comprehensive modernization of CIP washing at a food production facility. Scientific journal. 2018. no. 11(34). pp. 5–8. (in Russian)
9. Zakhvatov G.I. Regeneration of solutions as a method of creating closed technological cycles. News of KazGASA. 2011. no. 2(16). pp. 262–265. (in Russian)
10. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Kotovsky A.E. Substantiation of parameters of recirculation in car wash water supply systems. Construction and technogenic safety. 2022. no. 24(76). pp. 71–84. (in Russian)
11. Izbulayeva M.S., Amonov M.R., Amonova M.M. Use of flocculants in wastewater treatment systems. Universum: Technical sciences. 2023. no. 11-5(116). pp. 20–23. (in Russian)
12. Osipova M.V. Use of clarifying agents in technological process of kvass production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. vol. 613. no. 1. p. 012100.
13. Ulrikh E.V. Study of the properties of modified flocculants for the isolation of whey components. Technique and technology of food production. 2018. no. 2. pp. 117–128. (in Russian)
14. Ulrikh E.V., Barkova A.S. Use of flocculants for wastewater treatment. Transformation of ecosystems. 2023. no. 1(19). pp. 168–187. (in Russian)
15. Badawi A.K., Salama R.S., Mostafa M.M.M. Natural-based coagulants/flocculants as sustainable market-valued products for industrial wastewater treatment: a review of recent developments. RSC Advances. 2023. vol. 13. no. 28. pp. 19335–19355
16. Khan R.A. Detergents. Environmental Micropollutants. Amsterdam: Elsevier, 2022. pp. 117–130.
17. Yemiş F., Harmancı N.Y. Classification, uses and environmental implications of disinfectants. Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry. 2020. vol. 21. no. 2. pp. 179–192. doi:10.21743/pjaec/2020.12.25
18. Iakubchak O., Khomenko V., Dronik A., Bohach T., Chechet O., Nychyk S., Leno M., Matei M., Simon M. The study of the cytotoxic effect of disinfectants. Journal of Veterinary Research. 2023. vol. 67. no. 1. pp. 82–95.
19. Habschied K., Mastanjević K. Maintaining the quality control of beer. International Conference on Organization and Technology of Maintenance (OTO 2021). Cham: Springer, 2021. pp. 435–446.
20. Mohamed A., Noreo S. Investigating the root cause of high-water consumption in bottle washing equipment: A case study. Applications of Mathematics in Science and Technology. Boca Raton: CRC Press, 2024. pp. 928–933.
21. Lipnizki F., Figueroa R.R. Membrane operations in the sugar and brewing industry. Membrane Systems in the Food Production: Vol. 1: Dairy, Wine and Oil Processing. Berlin: De Gruyter, 2021. pp. 95–144.
22. Fernandes P.C.B., Silva J. Brewing By-Products: Source, Nature, and Handling in the Dawn of a Circular Economy Age. Biomass. 2025. vol. 5. no. 3. pp. 49–63.
23. Zacharof M.P. Industrial symbiosis: beer brewery wastewater-based biorefinery. Circular Economy and Sustainability. 2021. vol. 1. no. 2. pp. 593–609.

Сведения об авторах

Виталий Ю. Овсянников д.т.н., доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, Россия, ows2003@mail.ru.
https://orcid.org/0000-0001-9388-6303

Андрей И. Ключников д.т.н., доцент, профессор кафедры технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kaivanov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8161-0040

Алексей В. Прибытков к.т.н., доцент, старший преподаватель кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, д. 54 а, г. Воронеж, Воронежская обл., 394064, Россия, pribytkov_aleks@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8157-3681

Information about authors

Vitaly Yu. Ovsyannikov Dr. Sci. (Engin.), assistant professor, Professor of the Department of Machines and Equipment for Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Avenue, 19, Russia, ows2003@mail.ru.
https://orcid.org/0000-0001-9388-6303

Andrey I. Klyuchnikov Dr. Sci. (Engin.), assistant professor, Professor of the Department of Winemaking Technology, Fermentation Production and Chemistry named after G. G. Agabal'yants, «Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky», Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kaivanov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8161-0040

Alexey V. Pribytkov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Senior Lecturer, Department of Aviation Complexes and Aircraft Design, Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after prof. N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», Starykh Bolshevikov St., 54a, Voronezh, Voronezh Region, 394064, Russia, pribytkov_aleks@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8157-3681

Вклад авторов

Виталий Ю. Овсянников написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Андрей И. Ключников обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты
Алексей В. Прибытков предложил методику проведения эксперимента

Contribution

Vitaly Yu. Ovsyannikov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Andrey I. Klyuchnikov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Alexey V. Pribytkov proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/08/2025	**После редакции** 18/08/2025	**Принята в печать** 10/09/2025

Received 01/08/2025	**Accepted in revised** 18/08/2025	**Accepted** 10/09/2025