

Е. Ю. ТУКТАШЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПИВОВАРЕННЫХ ЗАВОДОВ**STUDY OF EFFICIENCY OF PRE-REAGENT TREATMENT OF WASTE WATER FROM BREWERY**

Целью работы являлось определение эффективности реagentной обработки сточных вод пивоваренных заводов. Объектом исследования служили сточные воды пивоваренного завода г.Самары. Для достижения поставленной цели проводилось пробное коагулирование исходной сточной воды пивоваренного завода с применением шести различных реagentов. В ходе эксперимента были определены оптимальные дозы каждого коагулянта. Экспериментальным путем установлено, что максимальная эффективность коагуляции составила 34% по ХПК. Сравнительные результаты реagentной обработки различными коагулянтами показали, что увеличение дозы реagentа свыше 150 мг/л по Me_2O_3 не приводило к повышению эффективности очистки, однако при этом значительно возрастала стоимость очищенной воды. Результаты исследования использованы при разработке схемы очистки пивоваренного завода г. Самары.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, сточные воды, пивоваренный завод, реagentная обработка, коагулянт

Введение

Пиво – это безалкогольный напиток, полученный путем алкогольного брожения с использованием отобранных дрожжей рода *Saccharomycus* из сусла, приготовленного из солодовых злаков, в основном ячменя, а также другого сырья, к которому были добавлены хмелевые цветы или их производные и надлежащим образом подготовленная вода.

Местами образования сточных вод выступают все технологические участки и этапы производства. Состав и концентрация загрязнений на различных производственных этапах отличаются. Основные этапы производства и соответственно места образования загрязнений – это мытье и замачивание сырья, его проращивание, мойка оборудования, варочных котлов, бродильных чанов, сброса кизельгура. Также сточные воды образуются в результате процесса розлива и охлаждения сусла и пива и от других технологических процессов.

Наиболее загрязненными считаются сточные воды, образующиеся при подготовке зерна,

The purpose of this research was to determine the effectiveness of the reagent treatment of wastewater from breweries. The object of the study was the wastewater of the Samara brewery. To achieve this goal, a trial coagulation of the original wastewater of the brewery was carried out using six different reagents. During the experiment, the optimal doses of each coagulant were determined. It was found experimentally that the maximum efficiency of coagulation was 34 % in terms of COD. Comparative results of the reagent treatment with various coagulants showed that an increase in the reagent dose over 150 mg / l in terms of Me_2O_3 did not lead to an increase in the purification efficiency, however, the cost of purified water significantly increased. The research results were used in the development of a cleaning scheme for the brewery in Samara.

Keywords: sewerage treatment facilities, waste water, post-treatment, reagent treatment, coagulant

сбросе отработанного хмеля и промывке пивных дрожжей перед введением в сусло. Их концентрация составляет: рН=6,0-7,0, взвешенные вещества – 100-400 мг/л, БПК_{полн} 400-1000 мг/л, ХПК 600-1200 мг/л [1]. Однако результаты, полученные автором в ходе работы по исследованию эффективности предварительной реagentной обработки сточных вод пивоваренного завода г. Самары, отличаются от известных литературных данных (табл. 1).

При высоких показателях органических загрязнений наблюдается дефицит азота и фосфора для проведения глубокой биологической очистки. В табл. 1 приведены данные по концентрациям сточных вод некоторых зарубежных и российских пивоваренных производств.

Как можно видеть из приведенных в табл. 1 данных, сточные воды пивоваренных производств имеют очень высокую концентрацию органических веществ при недостатке азота и фосфора. В случае аварийного сброса ХПК может превышать 11000 мг/л. Одной из проблем являются колебания рН ввиду различных технологи-

Таблица 1

Данные по загрязнениям

Показатель	«Городцовское пиво», пос. Городцовка, СО, Россия	«Первый пивоваренный завод», г. Алма-Аты, Казахстан	«Шымкент-пиво», г. Шымкент, Казахстан
ХПК, мгО/л	5150	4893	3456
БПК _{полн} , мгО/л	3020	3527	1988
Взвешенные вещества, мг/л	1768	1592	566
Фосфаты, мг/л	56,9	43	11
Азот аммонийный, мг/л	16,6	19	28

ческих процессов, в том числе и СІР-мойки (Clean In Place). Тенденция современных производств – это повторное использование сточных вод и снижение негативного воздействия на окружающую среду [2–4]. Однако не всегда есть возможность 100 % повторного использования сточных вод и часть из них направляется на сброс. В случае с пивзаводами это, как правило, сброс на городские очистные сооружения. В соответствии с нормативами приема сточных вод требуется очистка в первую очередь от органических загрязнений. Целью настоящей работы являлось исследование эффективности предварительной реагентной обработки сточных вод пивоваренных заводов. Для этого автором были поставлены и решены следующие задачи: определение зависимости эффективности снижения ХПК от дозы реагента с использованием различных коагулянтов; определение целесообразности использования предварительного коагулирования на сточных водах пивзавода. Объектом исследования являлись сточные воды пивоваренного завода г. Самары.

Коагулянты подразделяются на органические и неорганические. Группа органических коагулянтов включает в себя низкомолекулярные водорастворимые полимеры, такие как полиамины, дициандиамидные и меламиноформальдегидные смолы, полиДАДМАХ. Эти коагулянты очень эффективны, практически не изменяют рН, однако при этом они имеют высокую стоимость и круг их производителей весьма ограничен.

Неорганические коагулянты более распространены, что обусловлено их универсальностью в применении и относительно низкой стоимостью. Данная группа коагулянтов представлена солями алюминия, железа и их смеси, значительно реже используются соли магния, титана, цинка [5, 6].

Материалы и методы

В ходе настоящего исследования было использовано шесть коагулянтов. Данные по примененным реагентам приведены в табл. 2.

Из железосодержащих коагулянтов применяют в основном хлорид железа, сульфат железа (III). Реагент FeCl_3 представляет собой мелкие кристаллы фиолетового цвета с темно-зеленым оттенком с металлическим блеском. Данное вещество очень гигроскопично и поэтому чаще встречается в форме кристаллогидрата $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Соли железа обеспечивают наилучшую коагуляцию при рН 3,5–6,5 или 8,0–11,0, что является их преимуществом. Коагулянт хорошо работает даже при низких температурах воды. Минусом данного реагента можно считать необходимость точной дозировки, так как избыток коагулянта способен приводить к значительному росту концентраций катионов и соединений железа в очищенной воде [5].

Сульфат алюминия выпускается трех сортов. Сульфат алюминия высшего сорта – это белое сыпучее вещество с содержанием Al_2O_3 не менее 16 %. Данный коагулянт хорошо работает при рН 5–7,5. Однако он чувствителен к изменению рН и температуры воды. При этом коагулянт имеет невысокую стоимость, достаточно прост в обращении, имеет практически неограниченный срок хранения и хорошо растворим, что особенно важно при промышленной эксплуатации. На сегодняшний день это один из самых популярных коагулянтов [7].

Оксихлорид алюминия (ОХА) (другие названия – полиалюминий гидрохлорид, хлоридоксид алюминия, основной хлорид

Таблица 2

Сведения по примененным реагентам

Реагент	Основное вещество по Me_2O_y , %
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	17
Аква-Аурат 10М	10
Аква-Аурат 14	12
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	19,5
ЭПОХА Марка 4	23,5
Аква-Аурат 30	30

алюминия) можно представить в виде общей формулы $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$, наиболее частый вид $Al_2(OH)_5 Cl \cdot 6H_2O$. Такой тип коагулянтов на сегодняшний день является одним из наиболее эффективных, может применяться при низких температурах, обладает различной, в т. ч. низкой кислотностью и широким диапазоном pH. Содержание остаточного алюминия после обработки вод ОХА значительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия [8].

Коагулянты – ОХА торговой марки АКВА-АУРАТ™ 10М, АКВА-АУРАТ™ 13М, АКВА-АУРАТ™ 14М, АКВА-АУРАТ™ 15М, АКВА-АУРАТ™ 18М, АКВА-АУРАТ™ 102М, АКВА-АУРАТ™ 105М, АКВА-АУРАТ™ 110М, содержат сульфат алюминия, полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат™-18 и флокулянт полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПолиДАД-МАХ) [9].

Оксихлорид алюминия производства Аква-Аурат отличается, прежде всего, по физико-химическим свойствам и, в первую очередь, по основности. Основность реагентов производства Аква-Аурат в зависимости от типа и формы выпуска (жидкий или твердый) находится в диапазоне от 25 до 83 %. Диапазон доз различных коагулянтов был выбран от 10 до 175 мг/л по Me_2O_3 . Коагулянты в виде 5 %-го раствора вводились в исходные сточные воды после корректировки pH исходной воды до значения 7,4. Исследования проводились на исходной сточной воде при значениях ХПК=4475 мг/л.

При проведении пробного коагулирования с использованием кристаллических реагентов приготавливали раствор 100 г/л по товарному

продукту с использованием дистиллированной воды. Жидкие реагенты дозировали в виде товарных растворов. В цилиндры объемом 1000 мл добавляли 500 мл сточной воды. После добавления коагулянта сточную воду сначала интенсивно перемешивали в течение 10 с со скоростью 300 об/мин, затем медленно перемешивали в течение 60 с со скоростью 100 об/мин. Далее сточная вода отстаивалась в течение 30 мин и отбиралась для проведения анализов.

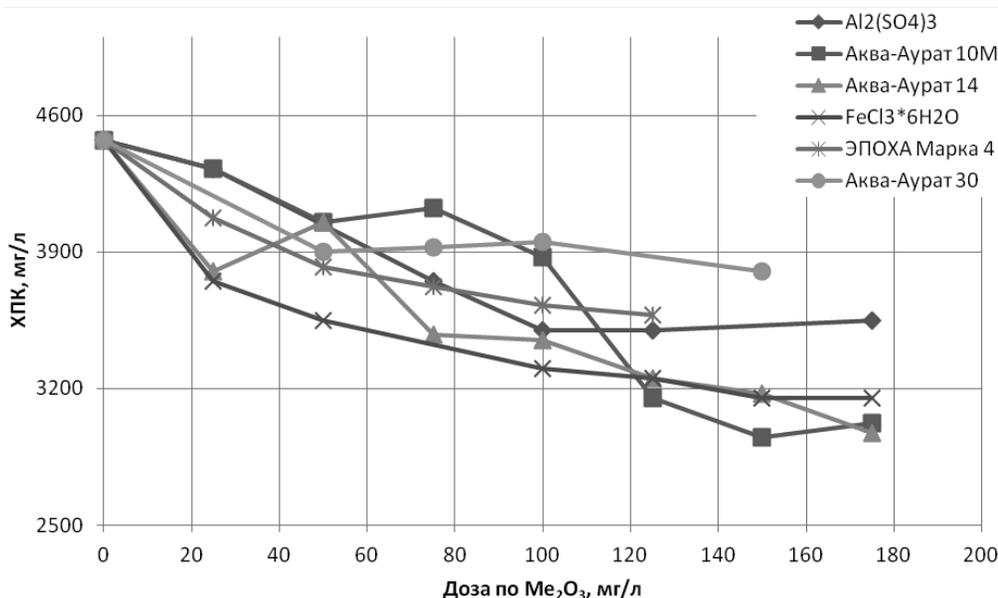
Результаты и обсуждение

Результаты пробного коагулирования на исходных сточных водах пивоваренного завода и исследование эффективности работы коагулянтов приведены на рисунке и в табл. 3. В ходе эксперимента было выполнено 50 опытов с различными дозами коагулянтов.

Таким образом, в ходе эксперимента были определены оптимальные дозы каждого из коагулянтов и максимально возможное снижение ХПК сточных вод.

Как видно из таблицы, наиболее эффективными оказались следующие дозы реагентов: $Al_2(SO_4)_3$ при дозе 100 мг/л (здесь и далее дозы по Me_2O_3) – снижение ХПК составило 21,79 %; Аква-Аурат 10М при дозе 150 мг/л – снижение ХПК 34,08 %; Аква-Аурат 14 при дозе 175 мг/л – снижение ХПК 33,52 %; $FeCl_3$ при дозе 150 мг/л – снижение ХПК 29,61 %; ЭПОХА Марка 4 при дозе 125 мг/л – снижение ХПК 20,11 %; Аква-Аурат 30 при дозе 150 мг/л – снижение ХПК 15,08 %.

Максимальная эффективность снижения ХПК составила 34,08 % у Аква-Аурат 10М при достаточно высокой стоимости за $1m^3$ обрабо-



Зависимость результатов пробного коагулирования от дозы используемого коагулянта

Таблица 3

Оптимальные дозы коагулянтов и снижение ХПК

Реагент	№	Доза коагулянта, мг/л по Me_2O_3	pH	ХПК, мг/л	Фосфор фосфатов	Стоимость, руб./м ³
$Al_2(SO_4)_3$	1	25	6,32	4325	10,45	1,77
	2	75	5,81	3750	0,02	5,30
	3	100	5,47	3500	0,00	7,06
	4	125	4,71	3500	0,00	8,83
	5	175	3,83	3550	0,00	12,36
Аква-Аураг 10М	1	25	6,93	4325	13,10	3,75
	2	50	6,84	4050	8,89	7,5
	3	75	6,75	4125	6,76	11,25
	4	100	6,65	3875	3,69	15
	5	125	6,5	3150	1,46	18,75
	6	150	6,35	2950	0,00	22,5
	7	175	6,27	3025	0,00	26,25
Аква-Аураг 14	1	25	6,81	3800	13,50	1,87
	2	50	6,46	4050	7,51	3,75
	3	75	6,25	3475	3,03	5,62
	4	100	5,94	3450	0,54	7,49
	5	125	5,67	3250	0,44	9,36
	6	150	5,37	3175	2,23	11,24
	7	175	4,92	2975	1,92	13,11
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	1	25	6,52	3750	11,35	0,51
	2	50	6,28	3550	8,51	1,02
	3	100	5,92	3300	1,65	2,03
	4	125	5,71	3250	0,00	2,54
	5	150	5,5	3150	0,00	3,05
	6	175	5,09	3150	0,00	3,55
ЭПОХА Марка 4	1	25	5,18	4075	15,52	4,25
	2	50	5,44	3825	12,31	8,50
	3	75	5,25	3725	11,52	12,75
	4	100	5,29	3625	7,59	17,00
	5	125	5,16	3575	6,09	21,25
Аква-Аураг 30	1	50	5,12	3900	0,00	6,50
	2	75	4,89	3925	0,00	9,75
	3	100	4,5	3950	0,00	13,00
	4	150	3,96	3800	0,00	19,50

танной сточной воды, равной 22,5 руб. Однако при этом применение данного реагента дает почти нейтральную среду. Аква-Аурат 14М показывает также неплохую эффективность снижения ХПК по сравнению с другими примененными реагентами – 33,52 %, однако при этом он значительно понижает рН обрабатываемого стока – до 4,92. Стоимость применения реагента Аква -Аурат 14М составляет 13,11 руб./м³. Наиболее экономичным оказался хлорид железа, стоимость обработки составила 3,05 руб./м³, но при этом рН снижается сильнее, чем при использовании Аква-Аурат 10М. Сульфат алюминия при эффективности очистки по ХПК 21,79 % оказался на четвертом месте и вторым после хлорида железа по стоимости за 1 м³ обработанного стока, равной 7,06 руб.

Исходя из приведенных данных видно, что в ходе реагентной обработки происходит снижение рН воды и содержания фосфора, который необходим для последующего протекания процессов биологической очистки. Снижение рН сточных вод вызывает необходимость повторной корректировки рН для обеспечения последующего процесса биологической очистки.

Из рисунка и табл. 3 видно, что повышение дозы реагента более оптимальных доз не приводит к существенному росту степени очистки.

Исходя из вышеизложенного, целесообразность коагуляции перед проведением биологической очистки может быть установлена технико-экономическим расчетом.

Выводы. 1. Экспериментальным путем установлено, что наиболее эффективными оказались Аква-Аурат 10М при дозе 150 мг/л – снижение ХПК 34,08% при стоимости 22,5 руб./м³; Аква-Аурат 14 при дозе 175 мг/л снижение ХПК 33,52 % при стоимости 13,11 руб./м³; FeCl₃ при дозе 150 мг/л снижение ХПК 29,61 % при наиболее низкой стоимости по сравнению с другими реагентами, равной 3,05 руб./м³ обрабатываемого стока.

4. Увеличение дозы вводимого реагента более 150 мг/л по Me₂O₃ не вызывало повышения эффективности снижения ХПК независимо от применяемого реагента.

5. Предварительное коагулирование требует корректировки рН для обеспечения протекания процессов последующей биологической очистки и приводит к росту капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с устройством дополнительного узла приготовления и дозирования реагента.

6. Применение реагентной обработки до биологической очистки приводило к снижению концентрации соединений фосфора, что при его недостатке в исходной воде, наряду с азотом, вызывает необходимость дополнительного до-

зирования фосфора при использовании на последующих этапах биологической очистки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов А.В., Мусаева Н.М., Булычев Э.Ю. Экологические проблемы переработки отходов пивоваренной промышленности // Известия Вузов. Пищевая технология. 2003. № 5–6. С. 132–133.
2. Шувалов М.В. Системный анализ эволюции нормативных требований к составу и свойствам сточных вод при сбросе в поверхностные водные объекты // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, №2. С. 43–56. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.7.
3. Вялкова Е.И., Сидоренко О.В., Глуценко Е.С. Влияние пробиотических средств на качество очистки сточных вод предприятий молочной промышленности // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, №1. С. 47–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.7.
4. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А. Устойчивость функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.54–58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10.
5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., 2005. 576 с.
6. Пазенко Т.Я., Колова А.Ф. Обработка промывных вод фильтров водоподготовки // Известия вузов. Строительство. 2010. № 9. С. 65–68.
7. Качалова Г.С., Пешева А.В., Зосуль О.И., Настенко А.О. Выбор современных реагентов, определение их доз для снижения мутности промывных вод скорых фильтров с целью их оборотного использования // Водные ресурсы и ландшафтно-усадебная урбанизация территорий России в XXI веке: 17-я Международная научно-практическая конференция. Тюмень: ТюмГАСУ. 2015. Т.1. С. 87–93.
8. Коева А.Ю., Максимова С.В., Качалова Г.С. Обработка промывных вод станции водоподготовки города Курган на реке Тобол // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5. С. 47–50.
9. Электронный ресурс <http://www.aurat.ru/product/807-akvaaurat-10m-13m-14m/>

REFERENCES

1. Belov A.V., Musaeva N.M., Bulychev E. Yu. Ecological problems of processing waste from the brewing industry. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [Food technology], 2003, no. 5-6, pp. 132-133. (in Russian)
2. Shuvalov M.V. System analysis of normative requirements evolution in terms of composition and characteristics of sewage discharged into surface water bodies. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol.10, no. 2, pp. 43-56. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.7. (in Russian)
3. Vialkova E.I., Sidorenko O.V., Glushenko E.S. Influence of probiotic products on the quality of waste water treatment in dairy industries. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architec-

ture], 2020, vol.10, no. 1, pp. 47–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.7. (in Russian)

4. Vilson E.V., Serpokrylov N.S., Dolzhenko L.A. Sustainable operation of the sewage works in critical situations. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 1, pp. 54–58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10. (in Russian)

5. Draginsky V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. *Koagulyaciya v tekhnologii ochistki prirodnyh vod* [Coagulation in technology of natural water purification]. M., 2005. 576 p.

6. Pazenko T. Ya., Kolova A.F. Treatment of wash water of water treatment filters / T. Ya. Pazenko and AF Kolova. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of universities. Construction], 2010, no. 9, pp. 65–68. (in Russian)

7. Kachalova G.S., Pesheva A.V., Zosul O.L., Nastenkov A.O. Selection of modern reagents, determination of their doses to reduce the turbidity of rinsing water of high-speed filters for the purpose of their recycling. *Vodnye resursy i landshaftno-usadebnaya urbanizaciya territorij Rossii v XXI veke: 17-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya* [17th International Scientific and Practical Conference "Water Resources and Landscape-Estate Urbanization of Russian Territories in the XXI Century"]. Tyumen, TyumGASU, 2015, vol. 1, pp. 87–93. (in Russian)

8. Koeva A. Yu., Maksimova S. V., Kachalova G. S. Treatment of wash water at the water treatment station of the city of Kurgan on the Tobol River. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2014, no. 5, pp. 47-50. (in Russian)

9. Aqua-Aurat 10M, 13M, 14M. Available at: <http://www.aurat.ru/product/807-akvaaurat-10m-13m-14m/>

Об авторе:

ТУКТАШЕВА Екатерина Юрьевна

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 директор ООО «Объединенные Системы Водочистки» 443030, Россия, г. Самара, ул. Урицкого, 10, тел. (846)205-99-55 E-mail: osv_samara@mail.ru

TUKTASHEVA Ekaterina Yu.

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 Director LLC «Ob'edinennye Sistemy Vodochistki» 443030, Russia, Samara, Uritskogo, 10, tel. (846)205-99-55 E-mail: osv_samara@mail.ru

Для цитирования: Тукташева Е.Ю. Исследование эффективности предварительной реагентной обработки сточных вод пивоваренных заводов // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 56–61. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.09.

For citation: Tuktasheva E.Yu. Study of Efficiency of Pre-reagent Treatment of Wastewater from Brewery. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 56–61. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.09.