

К. А. МАХЛАЙ, М. А. ЦЕЙТЛИН, В. Ф. РАЙКО

ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОАГУЛЯЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ПТИЦЕФАБРИК С РАЗЛИЧНЫМ СОСТАВОМ СТОКОВ

Сточные воды убойного цеха птицефабрик относятся к сильно загрязненным и должны проходить предварительную очистку на локальных очистных сооружениях перед их сбросом в канализацию. Эти сточные воды содержат большое количество различных загрязнений таких как пух, перо, кровь, каньга, песок, жиры, моющие средства и т.п. Все эти загрязнения находятся в сточных водах в высоких концентрациях и сброс недостаточно очищенных или вовсе неочищенных сточных вод приводит к снижению эффективности, а иногда и к полному выходу из строя очистных канализаций. Для локальной очистки наиболее широкое распространение получила технологическая схема, состоящая из усреднителя с механическим или пневматическим перемешиванием, насосной станции, решеток для грубой механической очистки и флотатора с предварительной реагентной обработкой. При правильно настроенном технологическом режиме такая схема дает достаточно высокую и стабильную эффективность очистки. Наиболее проблемным и сложным узлом данной технологической схемы является реагентная обработка. В основном, реагентная обработка представлена коагуляцией с корректировкой pH и последующим добавлением флокулянтов. В качестве коагулянтов в основном используются соли железа и алюминия, так же сейчас есть большое количество различных органических коагулянтов. Сложность данного узла заключается в отладке технологического режима очистных сооружений предприятия, поскольку дозы реагентов, их типы и условия применения могут кардинально отличаться даже между предприятиями, работающими по одной технологии. Связано это с множеством факторов начиная от культуры производства и заканчивая качеством используемой технической воды на заводе. В данной работе рассмотрены закономерности протекания процесса коагуляции сточных вод убойных цехов двух предприятий выпускающих одинаковую продукцию. При этом на одном предприятии установлено более современное оборудование и там удельное водопотребление ниже, а концентрация загрязнений в стоке выше. Так на предприятии с более современной оснасткой содержание взвешенных веществ на входе 2500 мг/л, а у более старого предприятия – 800 мг/л. В статье изучены закономерности протекания коагуляции сточных вод с применением трех типов коагулянтов: хлорное железо, сернокислое железо, полиоксихлорид алюминия. Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе экспериментально были определены закономерности протекания коагуляции в широком диапазоне pH среды и получены графики, отображающие зависимость эффективности очистки по взвешенным веществам от pH среды. Затем, на втором этапе исследования, были исследованы зависимости эффективности очистки от дозы коагулянта. В результате проведенных исследований определены наиболее благоприятные условия для проведения коагуляции и рациональные дозы коагулянтов для обоих стоков. Полученные результаты позволяют оперативно корректировать технологический режим очистных сооружений с изменением качества исходного стока.

Ключевые слова: коагулянт; порог коагуляции; хлорное железо; сернокислое железо; сточные воды птицефабрики; локальная очистка; технологический режим.

К. О. МАХЛАЙ, М. А. ЦЕЙТЛИН, В. Ф. РАЙКО

ЗАКОНОМІРНОСТІ КОАГУЛЯЦІЇ СТИЧНИХ ВОД ПТАХОФАБРИК З РІЗНИМ СКЛАДОМ СТОКІВ

Стичні води забійного цеху птахофабрик відносяться до сильно забруднених і мають проходити попередню очистку на локальних очисних спорудах перед їх скиданням до каналізації. Ці стічні води містять велику кількість різноманітних забруднень таких як пух, перо, кров, каньга, пісок, жири, миючі засоби і т.д. Усі ці забруднення знаходяться в стічних водах у високих концентраціях й скидання недостатньо очищених чи взагалі не очищених стічних вод призводить до зниження ефективності, а інколи і повного виходу зі строю очисних споруд каналізації. Для локальної очистки найбільш широке розповсюдження набула технологічна схема, що складається з усереднювача с механічним чи пневматичним перемішуванням, насосної станції, решіток грубої механічної очистки і флотатора з попередньою реагентною обробкою. При правильно налаштованому технологічному режимі така схема показує достатню високу і стабільну ефективність очищення. Найбільш проблемним й складним вузлом даної технологічної схеми є реагентна обробка. В основному, реагентна обробка представлена коагуляцією с корекцією pH і послідуочим додаванням флокулянта. В якості коагулянта в основному використовують солі заліза й алюмінію, також зараз є велика кількість різноманітних органічних коагулянтів. Складність даного вузла полягає у налаштуванні технологічного режиму очисних споруд підприємства, оскільки дози реагентів, їх типи й умови застосування можуть кардинально відрізнятись навіть між підприємствами, що працюють за однією технологією. Зв'язано це з великою купою факторів починаючи від культури виробництва і закінчуючи якістю технічної води, що використовується на підприємстві. В даній роботі розглянуті закономірності протікання процесу коагуляції стічних вод забійних цехів двох підприємств, що виготовляють однакову продукцію. При цьому на одному з підприємств встановлене більш сучасне обладнання і там удільне водоспоживання нижче, а концентрація забруднень с соку вища. Так на підприємстві з більш сучасним оснащенням вміст зважених речовин на вході 2500 мг/л, а у більш старого підприємства – 800 мг/л. У статті вивчені закономірності перебігу коагуляції з застосуванням трьох типів коагулянтів: хлорне залізо, сірчанокисле залізо, поліоксихлорид алюмінію. Дослідження проводились в два етапи. На першому етапі експериментально були визначені закономірності перебігу коагуляції в широкому діапазоні pH середовища і отримані графіки, що відображають залежність ефективності очищення за завислими речовинами і кольоровості від pH середовища. Потім, на другому етапі випробувань, були досліджені залежності ефективності очищення від дози коагулянту. В результаті проведених досліджень визначені найбільш сприятливі умови для проведення коагуляції і раціональні дози коагулянтів для обох типів стоку. Отримані результати дозволяють оперативно корегувати технологічний режим очисних споруд зі зміною якості поступаючих стічних вод.

Ключові слова: коагулянт; поріг коагуляції; хлорне залізо; сірчанокисле залізо; стічні води птахофабрики; локальна очистка; технологічний режим.

К. МАХЛАЙ, М. ZEITLIN, V. RAIKO

RULES OF POULTRY ABATTOIR WASTEWATER WITH DIFFERENT COMPOSITION BY COAGULATION

Poultry slaughter house wastewater is highly polluted and must be pre-treated at local wastewater treatment plant before their discharge into sewer. This wastewater contains a large amount of various contaminants such as fluff, feather, blood, canyga, sand, grease, detergents, etc. All these contaminants are found in wastewaters in high concentrations and the discharge of insufficiently treated or untreated wastewater leads to decrease of efficiency, and sometimes to complete failure of wastewater treatment plants. There is technological scheme with buffer tank with mechanical or pneumatic mixing, pump station, coarse screens and flotation unit with preliminary reagent treatment most widely used. With a properly tuned

technological mode, this scheme shows a fairly high and stable cleaning efficiency. The most problematic and difficult unit of this technological scheme is reagent treatment. In general, reagent treatment is represented by coagulation with pH adjustment and subsequent added of flocculants. There are iron and aluminum salts, numerous of new organic coagulants widely used as coagulants. The complexity of chemical treatment consist of debugging of technological regime of the local treatment plants, because doses of reagents, their types and conditions of use can be radically different even between factories which using the same technology. This is due to many factors ranging from the culture of production and ending with the quality of the process water which factory use. There are rules of coagulation process of poultry abattoir wastewater from two factories which use similar technology shown on this paper. At the same time, more modern equipment was installed at one of the factories, and that's why the water consumption is lower and the concentration of pollutants in wastewater is higher. So at the factory with more modern equipment the suspended solids concentration at the inlet is 2500 mg/l, and at the older factory - 800 mg/l. This article is studies the patterns of coagulation of wastewater from a meat processing plant using three types of coagulants: ferric chloride, ferrous sulphate, aluminum polyoxochloride. The study was conducted in two stages. At the first stage, relations of coagulation of pH of wastewater were determined experimentally in a wide range and graphics were obtained showing the dependence of the cleaning efficiency from suspended solids of the pH of wastewater. Relation of cleaning efficiency from coagulant dose was investigated at the second stage. The most kindly conditions of wastewater for coagulation and rational doses of coagulants were determined in results of this research for every type of wastewater.

The obtained results make it possible to promptly correct the technological regime of the local treatment plant with quality changes of inlet flow.

Keywords: coagulant; coagulation threshold; ferric chloride; ferrous sulphate; wastewater of abattoir; local treatment; technological regime.

Введение. На большинстве мясообрабатывающих комбинатах часто встречается проблема недостаточно эффективной локальной очисткой сточных вод, что влечет наложение штрафов, вплоть до полного закрытия предприятия. Для очистных же сооружений канализации, куда сбрасываются эти недоочищенные стоки это влечет за собой ухудшение работы очистных сооружений биологической очистки, выходом из строя оборудования, изменения технологического режима, и как следствие сбросом не загрязненных сточных вод в водоемы.

Часто, проблема заключается в не отлаженном технологическом режиме работы локальных очистных сооружений, которые в большинстве случаев представлены физико-химической очисткой. Одним из основных аспектов наладки технологического режима является корректно подобранные реагенты и условия их применения.

Литературный обзор. Птицефабрики относятся к предприятиям с высоким потреблением воды – 20÷35 л/птицу, что при производительности предприятия в 7÷10 тысяч голов в сутки составляет 1500÷3500 м³/сут сточных вод [1]. Стоки цеха убоя и потрошения птицефабрики представляют собой сложную, насыщенную систему содержащую большое количество высококонцентрированных загрязнений, как органического так и минерального характера [2]. В основном загрязнения представлены: пером, пухом, кровью, частями шкуры, песком, каньгой, моющими средствами и т.п [4]. Стоки образуются практически на всех этапах производства и, за частую подаются на очистку в виде смеси стоков. Для локальной очистки на предприятиях пищевой промышленности наиболее широкое распространения получила реагентная напорная флотация [5]. Для интенсификации флотационной очистки часто применяется предварительная реагентная обработка коагулянтами в сочетании с флокулянтами, данная комбинация реагентов хорошо зарекомендовала себя в промышленности [3]. Такая очистка достаточно эффективна при хорошо отлаженном технологическом режиме.

Отладка же технологического режима включает в себя множество этапов, при этом одним из фундаментальных является подбор коагулянта, его дозы и pH среды для проведения коагуляции [6].

Исследования проводимые в данной области

свидетельствуют о том, что выбор оптимальных условий применения коагулянтов и их доз на основании уже имеющихся результатов достаточно проблематично из-за значительного разброса получаемых данных и отсутствия их систематизации [7]. Так в работе [8] для сточных вод скотобойни был определен рабочий диапазон pH ≈ 6, и доза коагулянта хлорного железа 600 мг/л. В работе [9] удалось добиться наиболее интенсивной коагуляции при pH = 10 и дозе сульфата железа 350 мг/л. Для сточных вод предприятия по переработки мяса индейки были определены следующие рабочие точки: pH = 5,1÷5,7 и доза 110 мг/л сульфата железа, pH = 6,2÷6,7 и доза 80 мг/л хлорида железа и pH = 5,9÷6,4, а доза 140 мг/л полиоксихлорида алюминия [10].

Такой широкий разброс связан данных со многими факторами: применяемые на производстве реагенты, культура производства, качество используемой на предприятии воды и многое другое [11, 12].

Всё это значительно усложняет и затягивает во времени процесс технологической наладки локальной очистки на предприятиях, а также усложняет последующую эксплуатацию очистных сооружений.

Цели и задачи исследования. Цель проводимых исследований заключатся в поиске наиболее оптимальных условия для коагуляции сточных вод убойного цеха птицефабрики с различным составом. В частности, путем экспериментального обоснования рациональных доз коагулянтов и pH среды для их применения.

Для достижения поставленных целей, была установлена степень влияния pH среды и дозы коагулянта на эффективность очистки от взвешенных веществ. Так же установлены зависимости оптимального pH и дозы коагулянта от состава сточных вод. Определены наиболее благоприятные pH среды для каждого из исследуемых коагулянтов, а также определены рациональные дозы реагентов.

Материалы и методы проведения исследования. В качестве объекта исследования были выбраны сточные воды убойного цеха двух идентичных предприятий по переработке мяса индейки. Сточные воды поступают от убоя и потрошения птицы, мойки и дезинфекции оборудования и помещений.

В исследуемых стоках в большом количестве содержатся: жиры, белки, частицы органики, а также механические загрязнения и песок. Для усреднения

состава и расхода сточных вод на предприятии предусмотрен усреднитель с механическим перемешиванием. Характеристики поступающих на очистку сточных вод приведены в табл. 1.

При проведении исследования применялись следующие реагенты:

1. Коагулянты: полиоксихлорид алюминия АКВА-АУРАТ-18 ТУ 2163-069-00205067-2007; ($Al_2O_3 = 17 \pm 0,5 \%$) коагулянт железосодержащий FER-AQUA-17 ($Fe_2(SO_4)_3$ ТУ У 20.1-03327724-006:2013, массовая доля Fe^{3+} не менее 13,7 %); коагулянт хлорное железо $FeCl_3$ ТУ 2152-081-56856807-08, массовая доля хлорного железа не менее 40 %.

2. Реагенты для корректировки pH: гидроксид натрия NaOH по ГОСТ Р 55064-2012; раствор лимонной кислоты ($H_6C_8O_7$ 8 – 9 %).

Для определения рационального pH, отобранная из усреднителя сточную воду набирали мерные стаканы объемом 0,5 л. Затем добавляли коагулянт, корректор pH (кислоту или щелочь) и производили перемешивание в два этапа: сначала быстрое, а после медленное. Образовавшуюся суспензию отстаивали в течение 30 минут с последующим отбором пробы осветленной воды и измерением показателей ее качества.

Таблица 1 – Состав производственных сточных вод, поступающих на очистку

Наименование параметра	Ед. изм.	Сток №1	Сток №2
Взвешенные вещества	мг/л	800	2500
ХПК	мг O_2 /л	3950	6000
БПК ₅	мг O_2 /л	2200	2500
Жиры	мг/л	600	950
pH	-	6÷8	6,5÷8,5
Максимальная температура воды	°C	35	35
Минимальная температура воды	°C	24	24

Для определения рационального pH, отобранная из усреднителя сточную воду набирали мерные стаканы объемом 0,5 л. Затем добавляли коагулянт, корректор pH (кислоту или щелочь) и производили перемешивание в два этапа: сначала быстрое, а после медленное. Образовавшуюся суспензию отстаивали в течение 30 минут с последующим отбором пробы осветленной воды и измерением показателей ее качества.

Аналогичным образом производился подбор дозы коагулянта.

Измерения проводились при помощи стандартных измерительных приборов: портативного влагозащищенного pH Meter Hanna HI 9124 и колориметра HACH DR/890. Содержание взвешенных веществ измерялось в миллиграммах в литре и цветность исследуемых образцов в градусах цветности по Pt-Co шкале цветности определялась фотометрическим методом.

Эффективность очистки от взвешенных веществ в процентах определялась как отношение содержания взвешенных веществ в очищенной пробе к содержанию взвешенных веществ в исходном стоке. Эффективность снижения цветности в процентах определялась как отношение оптической плотности очищенного образца к оптической плотности исходного стока.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались с помощью электронных таблиц на программном обеспечении MS Office Excel.

Исследования влияния pH среды на коагуляцию сточных вод

Серноокисное железо

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от pH среды с применением серноокислого железа приведено на рис. 1. На приведенном графике видно, как пробы с содержанием ВВ – 800 мг/л с увеличением pH от 1,9 до 4 происходит стремительное возрастание эффективности с 32 до 85 %. При увеличении pH до 4,5 – 5,5 кривая эффективности достигает своего максимума – эффективности 85–89 %. Последующее подщелачивание среды приводит к постепенному ухудшению качества очистки: так при pH = 7,2 эффективность очистки составила 81 %, при pH = 8,5 – 73 %, а при pH = 10,9 – снизилась до 57 %. Для образца с более высоким содержанием взвешенных веществ наблюдается аналогичная картина: при изменении pH с 3 до 4,5 эффективность возрастает с 75 до 93 %, затем сохраняется в тех же пределах до значения pH 6. А затем происходит постепенно снижение эффективности с повышением pH.

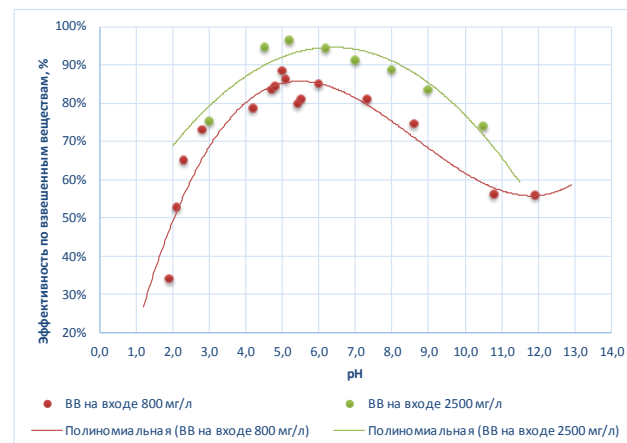


Рисунок 1 – Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта серноокислого железа (110 мг/л) при разных pH среды

Полиоксихлорид алюминия

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от pH среды с применением полиоксихлорида алюминия приведено на рис. 2. Как показано на рисунке, увеличение pH с 2 до 4 практически не изменяет эффективность очистки – 55 % для обоих образцов. При этом повышение pH среды с 4 до 5 приводит к стремительному

возрастанию эффективности с 50÷60 до 80÷90 %. Последующее увеличение рН постепенно улучшает качество очистки и достигается максимального значения 91 % при рН = 6 для сточных вод с содержанием взвешенных 800 мг/л, и 97 % при рН = 6, для более насыщенного стока. Дальнейшее подщелачивание среды до 8 постепенно снижает эффективность очистки до 86÷90 %. Последующее увеличение рН приводит к резкому снижению эффективности – так при рН = 9 эффективность составила 80 %, при 10 – 70 %, а при рН = 12 – 40 %.

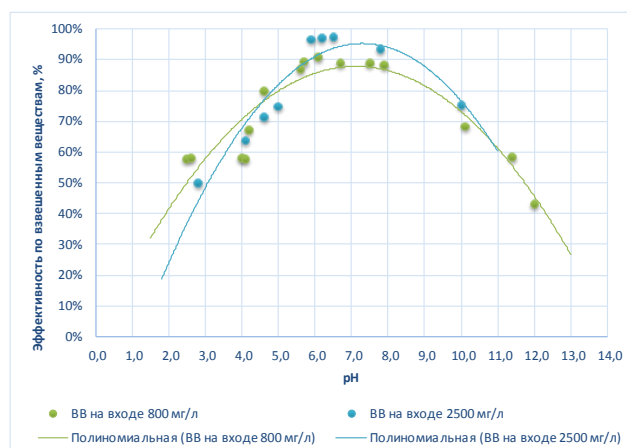


Рисунок 2 – Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия (115 мг/л) при разных рН среды

Хлорное железо

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от рН среды с применением хлорного железа приведено на рис. 3.

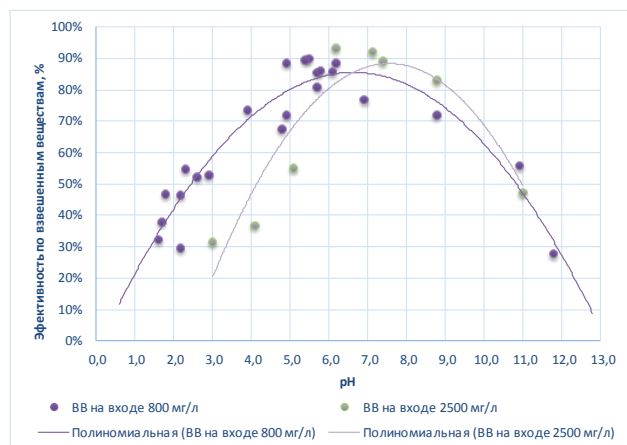


Рисунок 3 – Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта хлорное железо (120 мг/л) при разном рН среды

Для сточных вод с меньшим содержанием взвешенных веществ повышение рН среды с 1,5 до 4 приводит к стремительному повышению эффективности извлечения взвесей. При рН 1,5 эффективность очистки, приблизительно равна 30-35 %, а при рН = 2 уже 45÷50 %. Последующее увеличение рН до 5 постепенно повышает эффективность до 75÷80 % и достигает своего максимума в диапазоне от 5 до 6. При

этом эффективность достигает значений 90 %. Последующее подщелачивание среды снижает эффективность и при рН = 11 она составляет 50 %.

Для сточных вод с содержанием взвешенных веществ 2400 мг/л кривая имеет аналогичный характер, однако несколько смещена по оси x в сторону щелочной среды.

На основании изложенного выше материала можно сделать заключение, что для коагулянта сернокислое железо наиболее оптимальным рН для данного типа стоков является диапазон рН от 4 до 6. Для коагулянта ПОХА оптимальный диапазон рН = 5,5÷7, для хлорного железа рН = 5÷7. В этих диапазонах были достигнуты наиболее высокие показатели качества очистки стока, отклонение от них приводит к снижению качества очистки.

Исследования влияния дозы коагулянта на эффективность очистки сточных вод. График изменения эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от дозы сульфата железа приведены на рис. 4.

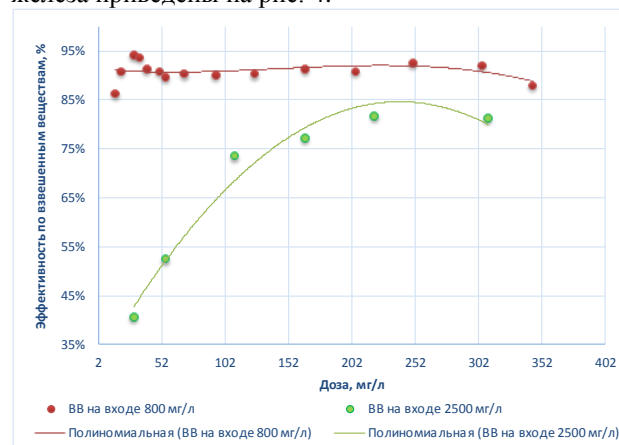


Рисунок 4 – Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта сернокислое железо с различными дозами реагента при рН (5÷6)

Для сточных вод содержащих 800 мг/л взвешенных веществ на входе при низкой дозе коагулянта (15 мг/л) эффективность очистки составила 86 %, последующее увеличение дозы реагента резко повышает эффективность очистки. Повышение эффективности достигает своего максимального значения при дозе 93÷95 % при дозе 30÷40 мг/л. Последующее увеличение дозы несколько снижает эффективность очистки, при дозе 50 мг/л эффективность снижается до 90 % и остается практически не измененной с последующим увеличением дозы коагулянта. Аналогичная тенденция была отмечена и для сточных вод с более высокой концентрацией взвеси на входе. Однако со смещенным порогом коагуляции. Если для более разбавленных сточных вод он находится в пределах 30 мг/л, то для более насыщенного стока он смещен и находится в пределах 110 мг/л.

Результаты исследования влияния дозы хлорного железа на эффективность очистки по взвешенным веществам приведены на рис. 5.

Для образца с содержанием взвешенных веществ 800 мг/л, при дозе коагулянта 20 мг/л эффективность

составила 80 %, последующее увеличение дозы коагулянта повышает эффективность очистки. При дозе 30 мг/л, она составил 83 %, а при 40 мг/л уже 92 %. При этом последующее увеличение дозы, вплоть до 370 мг/л, не улучшает качество очистки. Для более концентрированного стока характер получаемых данных похож, аналогично серноокислому железу, однако отклонение порога коагуляции не столь велико. Порого коагуляции находится в пределах 90 мг/л.

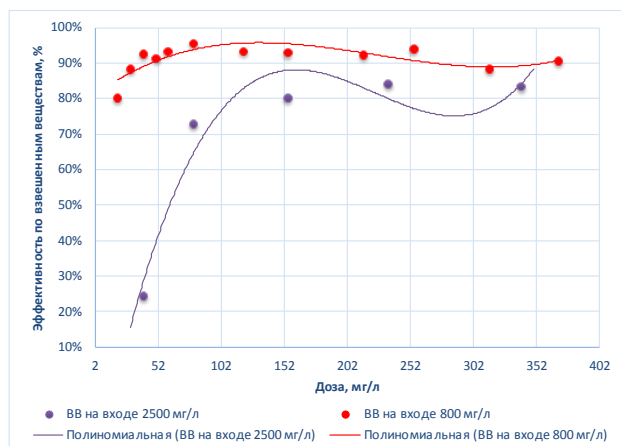


Рисунок 5 – Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта хлорное железо с различными дозами реагента при pH (5÷6)

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ с применением ПОХА приведены на рис. 6.

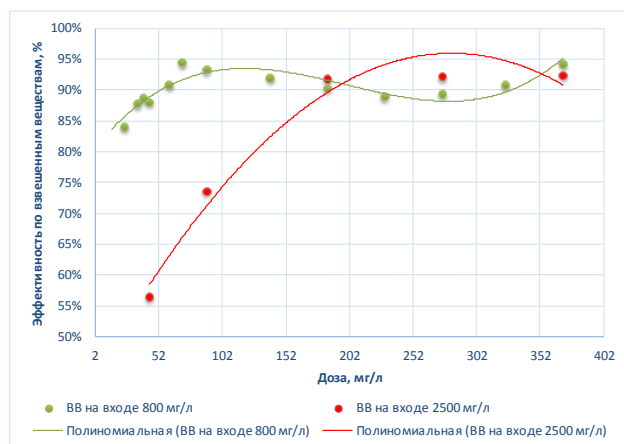


Рисунок 6 – Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия с различными дозами реагента при pH (6÷8)

Для образца с более низким содержанием взвешенных веществ было установлено, что при дозе коагулянта 25 мг/л эффективность очистки составляет 83 %, при последующем увеличении дозы до 70 мг/л эффективность постоянно увеличивалась и достигла значения 95 %. При последующем повышении дозы эффективность несколько снизилась – до 90 % при дозе 185 мг/л. При последующем увеличении дозы коагулянта эффективность постепенно начала повышаться до значений 94÷95 %.

В случае исследования образца с содержанием взвешенных веществ 2500 мг/л, при низкой дозе коагулянта – 45 мг/л эффективность извлечения взвешенных веществ составила, всего лишь, 25 %. С последующим увеличением дозы коагулянта до 90 мг/л происходит стремительный рост кривой эффективности. При дозе ПОХА 90 мг/л эффективность составила уже 73 %, а при дозе 185 мг/л достигла 92 %. Последующее увеличение дозы коагулянта до 370 мг/л не привело к увеличению эффективности.

Анализ опытных данных влияния pH среды и дозы реагентов на процесс коагуляции сточных вод с различного состава. Рациональные pH стоков полученные при проведении исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Оптимальные значения pH стоков

Коагулянт	ВВ на входе 800 мг/л	ВВ на входе 2500 мг/л
Серноокислое железо	4÷6	4÷6
Хлорное железо	5÷6	6÷7
Полиоксихлорид алюминия	6÷8	6÷8

Рациональные дозы коагулянтов полученные при проведении исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Оптимальные дозы коагулянтов (мг/л)

Коагулянт	ВВ на входе 800 мг/л	ВВ на входе 2500 мг/л
Серноокислое железо	30	110
Хлорное железо	40	80
Полиоксихлорид алюминия	60	140

Как видно из приведенной выше таблицы 2, наиболее высокая эффективность очистки по взвешенным веществам достигается в слабокислых условиях среды с pH в диапазоне 5÷7. Так же следует отметить, что у всех исследованных коагулянтов рабочий диапазон pH очень близок. При этом порог коагуляции у серноокислого железа ниже для сточных вод с меньшим исходным содержанием взвешенных веществ, в то время как для хлорного железа всё наоборот. Связанно это, скорее всего, с спецификой применяемых на производстве реагентов и подлежит расширенному исследованию.

Интересным является то факт, что с применением хлорного железа в случае применения дозы ниже порога коагуляции происходит резкое снижение эффективности очистки. Так при уменьшении дозы коагулянта в 2 раза эффективность снижается почти 3 раза с 73 % до 24 %. При аналогичных условиях эффективность очистки с применением сульфата железа снижается в 1,4 раза: с 74 % до 53 %. Полученные результаты влияния pH на эффективность очистки показывают, что сульфат железа обеспечивает максимальную эффективность диапазоне pH 4÷6 (при отклонении не происходит значительного снижения эффективности), для хлорного железа этот диапазон лежит в пределах 5÷7, и к тому же не

одинаков для малой и большой концентрации взвешенных веществ. При содержании 800 мг/л взвешенных в исходном стоке он составляет 5÷6, а при 2500 мг/л несколько смещается в щелочную среду и составляет 6÷7. Тогда как кривые полученные для сульфата железа, практически, совпадают как для образца с содержанием взвешенных 800 мг/л, так и 2500 мг/л.

Кривая влияния pH среды на эффективность очистки с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия, аналогично сульфату железа, сохраняет свое положение и характер с повышением содержания взвешенных веществ в исходной пробе.

Совокупность выше изложенных факторов приводит к тому, что, не смотря на достаточно высокую эффективность, хлорное железо не является наилучшим решением, в связи более узким диапазоном применимости в сравнении с сульфатом железа и полиоксихлоридом алюминия. Так же при применении хлорного железа наблюдается смещение рабочего диапазона pH с изменением содержания взвешенных веществ в исходной воде, Сравнивая сульфат железа и полиоксихлорид алюминия следует отметить, что необходимая доза полиоксихлорида алюминия значительно выше чем у сульфата железа, что приведет к возрастанию эксплуатационных затрат предприятия на очистку стоков.

Данные обстоятельства делают сульфат железа более надежным и экономически выгодным реагентом для применения на предприятиях с часто изменяющимся стоком.

Полученные результаты могут быть применены при проектировании новых локальных очистных сооружений предприятий пищевой промышленности с аналогичной технологической цепочкой. Так же, материалы, изложенные в данной работе, могут быть использованы для моделирования и прогнозирования процесса очистки сточных вод предприятий. Важным направлением продолжения исследований является выявление факторов, значимо влияющих на технологический режим физико-химической очистки сбросных жидкостей, и количественная оценка этого влияния.

Выводы. Определены рациональные диапазоны pH среды для протекания процесса коагуляции: 4÷7 для сульфата железа и хлорида железа, при этом для хлорида железа наблюдается смещение pH при в щелочную среду при увеличении концентрации взвешенных веществ; 6÷8 – полиоксихлорида алюминия. Установлено что с увеличением содержания взвешенных веществ в исходном стоке с 800 мг/л до 2500 мг/л (в 3,1 раза) увеличение требуемой дозы реагента составило: для сульфата железа с 30 мг/л до 110 мг/л (в 3,6 раза), для хлорного железа с 40 мг/л до 80 мг/л (в 2 раза), для полиоксихлорида алюминия с 60 мг/л до 140 мг/л (в 2,3 раза).

Список литературы

1. Rajakumar R. et al. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic filter under low upflow velocity //International Journal of Environmental Science & Technology. – 2011. – Т. 8. –

- №. 1. – С. 149-158. – DOI: 10.1007/BF03326204.
2. Bayramoglu M. et al. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater //Separation and Purification Technology. – 2006. – Т. 51. – №. 3. – С. 404-408. - DOI: 10.1016/j.seppur.2006.03.003.
3. De Nardi I. R., Fuzi T. P., Del Nery V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater //Resources, Conservation and Recycling. – 2008. – Т. 52. – №. 3. – С. 533-544. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2007.06.005.
4. Bayar S. et al. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method //Desalination. – 2011. – Т. 280. – №. 1-3. – С. 103-107. - DOI:10.1016/j.desal.2011.06.061.
5. Del Nery V. et al. Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for high quality effluent //Water Science and Technology. – 2016. – Т. 73. – №. 2. – С. 309-316. – DOI: 10.2166/wst.2015.494.
6. Santo C. E. et al. Optimization of coagulation-flocculation and flotation parameters for the treatment of a petroleum refinery effluent from a Portuguese plant //Chemical Engineering Journal. – 2012. – Т. 183. – С. 117-123. – DOI: 10.1016/j.cej.2011.12.041.
7. dos Santos Pereira M. et al. Treatment of synthetic milk industry wastewater using batch dissolved air flotation //Journal of Cleaner Production. – 2018. – Т. 189. – С. 729-737. – DOI: 10.1080/10934529.2012.695946.
8. Boughou N. et al. Effect of pH and time on the treatment by coagulation from slaughterhouse of the city of Rabat //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 149. – С. 02091. – DOI: 10.1051/mateconf/201814902091.
9. Loloie M. et al. Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries //International Journal of Environmental Health Engineering. – 2014. – Т. 3. – №. 1. – С. 12. – DOI: 10.4103/2277-9183.132684.
10. Makhlay. K. A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enterprise // Eastern-European journal of enterprise technologies - PC "TECHNOLOGY CENTER" – 2018 – 3/10 (93) – с. 15-20. - DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
11. Спиридонова Л. Г. Отработка режимов очистки сточных вод птицефабрики по переработке мяса индеек //Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. – №. S4. – С. 70-74.
12. Mahtab A. et al. Coagulation/adsorption combined treatment of slaughterhouse wastewater //Desalination and Water Treatment. – 2009. – Т. 12. – №. 1-3. – С. 270-275. – DOI: 10.5004/dwt.2009.952.

References (transliterated)

1. Rajakumar R. et al. Treatment of poultry slaughterhouse waste water in upflow anaerobic filter under low upflow velocity //International Journal of Environmental Science & Technology. – 2011. – Т. 8. – №. 1. – С. 149-158. – DOI: 10.1007/BF03326204.
2. Bayramoglu M. et al. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater //Separation and Purification Technology. – 2006. – Т. 51. – №. 3. – С. 404-408. - DOI: 10.1016/j.seppur.2006.03.003.
3. De Nardi I. R., Fuzi T. P., Del Nery V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater //Resources, Conservation and Recycling. – 2008. – Т. 52. – №. 3. – С. 533-544. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2007.06.005.
4. Bayar S. et al. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method //Desalination. – 2011. – Т. 280. – №. 1-3. – С. 103-107. - DOI:10.1016/j.desal.2011.06.061.
5. Del Nery V. et al. Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for high quality effluent //Water Science and Technology. – 2016. – Т. 73. – №. 2. – С. 309-316. – DOI: 10.2166/wst.2015.494.
6. Santo C. E. et al. Optimization of coagulation-flocculation and flotation parameters for the treatment of a petroleum refinery effluent from a Portuguese plant //Chemical Engineering Journal. – 2012. – Т. 183. – С. 117-123. – DOI: 10.1016/j.cej.2011.12.041.
7. dos Santos Pereira M. et al. Treatment of synthetic milk industry wastewater using batch dissolved air flotation //Journal of Cleaner Production. – 2018. – Т. 189. – С. 729-737. – DOI: 10.1080/10934529.2012.695946.
8. Boughou N. et al. Effect of pH and time on the treatment by coagulation from slaughterhouse of the city of Rabat //MATEC

- Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 149. – С. 02091. – DOI: 10.1051/mateconf/201814902091.
9. Loloei M. et al. Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries //International Journal of Environmental Health Engineering. – 2014. – Т. 3. – №. 1. – С. 12. - DOI: 10.4103/2277-9183.132684.
10. Makhlay. K. A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enterprise // Eastern-European journal of enterprise technologies - PC "TECHNOLOGY CENTER" – 2018 – 3/10 (93) – с. 15-20. - DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
11. Spiridonova L.G. Otrabotka rezimov ochistki stochnih vod ptichefabriki po pererabotki miasa indek [Development of wastewater treatment regimes for turkey meat processing plants]. Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i architectura [Messenger SGASU. Urban planning and architecture], 2013, №. S4, 70-74.
12. Mahtab A. et al. Coagulation/adsorption combined treatment of slaughterhouse wastewater //Desalination and Water Treatment. – 2009. – Т. 12. – №. 1-3. – С. 270-275. – DOI: 10.5004/dwt.2009.952.

Надійшла (received) 02.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Махлай Костянтин Олександрович (Махлай Константин Александрович, Makhlay Konstantyn) – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра «Хімічної техніки і промислової екології»; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8279-9685>; e-mail: cancermakh@gmail.com.

Цейтлін Мусій Абрамович (Цейтлин Моисей Абрамович, Tseitlin Musii) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра «Хімічної техніки і промислової екології»; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2452-7814>; e-mail: michelzeitlin@gmail.com.

Райко Валентина Федорівна (Райко Валентина Федоровна, Valentina Raiko) – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра «Хімічної техніки і промислової екології»; г. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5527-1874>; e-mail: raiko.hpi@gmail.com.