

гического партнерства», 2012. – Т. 26. – С. 321-326.

7. Системы мониторинга опасных производственных объектов. Общие технические требования: СА 03-002-05. Стандарт ассоциации Ростехэкспертиза. – М.: Изд-во «Компрессорная и химическая техника», 2005. – 42 с.

8. Валеев, С. И. Техническая диагностика. Учебное пособие / С. И. Валеев, С. И. Поникаров. – Казань: Изд-во Академии наук Республики Татарстан, 2015. – 124 с.

9. Носов, В. В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. / В. В. Носов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 384 с.

10. Ушаков, О. О. Разработка системы стационарного мониторинга технического состояния динамического оборудования / О. О. Ушаков, А. И. Дементьев, Е. В. Подоппелов // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2020. – Т. 1. – № 7. – С. 75-76.

УДК 628.345.1

Джарбинадзе Павел Викторович,
магистрант, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: Pavilik42195@yandex.ru
Раскулова Татьяна Валентиновна,
д.х.н., зав. кафедрой «Химическая технология топлива»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: raskulova@list.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМОХЛОРИДНОЙ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛБЕНЗОЛА В КАЧЕСТВЕ КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИСТИРОЛА

Dzharbinadze P.V., Raskulova T.V.

USE OF ALUMINUM CHLORIDE WATER FROM ETHYLBENZENE PRODUCTION AS A COAGULANT FOR PURIFICATION OF WASTEWATER FROM POLYSTYRENE PRODUCTION

Аннотация. Проанализированы стадии образования химически загрязненной воды в процессах производства суспензионного полистирола. Предложено использовать алюмохлоридную воду (отход производства этилбензола) в качестве коагулянта для очистки водных растворов производства полистирола. Определены необходимые соотношения реагентов для очистки, проведены экспериментальные исследования. Внедрение предложенного способа очистки позволит снизить затраты на выпуск готовой продукции (полистирола), а также уменьшить сброс сточной воды производства этилбензола в систему промышленной канализации.

Ключевые слова: сточные воды, коагуляция, флокуляция, хлорид алюминия.

Abstract. The stages of formation of chemically contaminated water in the production processes of suspension polystyrene are analyzed. It is proposed to use aluminum chloride water (a waste product from the production of ethylbenzene) as a coagulant for the purification of mother water solutions of polystyrene production. The necessary ratios of reagents for purification were determined and experimental studies were carried out. The introduction of the proposed cleaning method will reduce the cost of producing finished products (polystyrene), as well as reduce the discharge of wastewater from ethylbenzene production into the industrial sewerage system.

Keywords: waste water, coagulation, flocculation, aluminum chloride.

Полистирол представляет собой один из наиболее распространенных крупнотоннажных промышленных синтетических полимеров. Мировой объем производства полистирольных материалов в 2023 году составил 12,46 млн. тонн [1]. Российский рынок полистирола характеризуется меньшими объемами: по данным НИУ ВШЭ [2] в 2020

году российскими предприятиями было произведено порядка 600 тыс. тонн.

Основным способом промышленного производства полистирола является суспензионная полимеризация, проводимая в водной фазе. Для проведения суспензионной полимеризации в реактор подается вода и исходный мономер, нерастворимый в воде. За

счет механического перемешивания мономер распределяется в воде в виде отдельных капель заданного дисперсного размера, внутри которых проходит процесс полимеризации. В результате по его окончании образуется суспензия полимера в воде. Она легко поддается дальнейшему разделению, сушке и другим необходимым дополнительным операциям, что и привело к широкому распространению данного метода. Для стабилизации реакционной эмульсии в процессе применяют органические стабилизирующие добавки. При производстве полистирола, в основном, применяют сольвар (водный раствор поливинилового спирта). После отделения полистирола водные растворы узлов полимеризации в виде химически загрязненной воды (ХЗВ) поступают в системы промышленной канализации и подвергаются многостадийной обработке на установках локальной очистки.

Таблица 1 – Средний состав ХЗВ производства полистирола до и после очистки

Компонент	Контролируемые показатели	Норма по ТР
ХЗВ до узла локальной очистки	Содержание стирола (НП), мг/дм ³ , не более	20
	Содержание сольвара, мг/дм ³ , не более	1500
	Содержание взвешенных веществ (ВВ), мг/дм ³ , не более	100000
ХЗВ после узла локальной очистки	Содержание стирола (НП), мг/дм ³ , не более	1,52
	Содержание сольвара, мг/дм ³ , не более	30,00
	Содержание взвешенных веществ (ВВ), мг/дм ³ , не более	14,62

Средний состав ХЗВ производства суспензионного полистирола и требования к качеству ХЗВ после стадии локальной очистки приведены в таблице 1.

ХЗВ производства полистирола содержат в качестве загрязнителей взвешенные вещества (частицы полистирола), сольвар, остаточные углеводороды (стирол). На большинстве действующих установок стоки проходят очистку методом коагуляции и флокуляции, после чего сбрасываются в общую систему промышленной канализации. Норма образования ХЗВ на тонну полистирола составляет до 6 м³.

В качестве коагулянта на действующих

установках полимеризации стирола чаще всего применяется хлористый магний (в виде 7 %-го водного раствора), в качестве флокулянта используется катионный флокулянт «Бифлок» или «Zetag» (0,1-0,2 %-ный водный раствор).

Принцип действия всех коагулянтов, в том числе хлорида магния, основан на их гидролизе с образованием соответствующих гидроксидов металлов и соляной кислоты по реакции:



Принцип действия коагулянтов основан на дестабилизации (путем нейтрализации их заряда) коллоидных частиц, которые образуются в водных системах.

Для коллоидных частиц характерно образование на поверхности частиц двойного электрического слоя: одна часть его фиксирована на поверхности частицы, а другая создает подвижный диффузионный слой вокруг нее. Между слоями создается разность потенциалов (электрокинетический потенциал или дзета-потенциал). Он определяет величину электростатических сил отталкивания коллоидных частиц друг от друга, что предохраняет их от слипания и укрупнения. Таким образом, малый размер коллоидных частиц и отрицательный заряд, распределенный по их поверхности, предохраняет их от агрегации и обеспечивает устойчивость и стабильность коллоидных систем.

Поскольку хлопья коагулянтов имеют слабый положительный заряд, они легко притягиваются к коллоидным частицам, которые характеризуются слабым отрицательным зарядом. В результате происходит дестабилизация и агрегация последних.

Значения рН осаждения гидроксида магния находится в диапазоне от 9,4 до 12,4, поэтому максимальная эффективность хлорида магния как коагулянта проявляется в сильнощелочных средах [3].

Известно, что эффективность коагуляции зависит от величины положительного заряда катиона металла, входящего в состав коагулянта. С увеличением заряда коагулирующая способность катионов возрастает (табл. 2).

Таким образом наибольшую коагуляционную способность должны проявлять соединения на основе алюминия либо трехвалентного железа. Широко известны примеры использования сульфатов алюминия для коа-

гуляционной очистки воды хозяйственно-бытового назначения [4], предприятий металлургического цикла [5], воды иловых отстойников БОС [6].

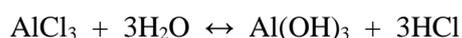
Таблица 2 – Коагулирующая способность катионов металлов

Катион	Относительная коагулирующая способность
Na ⁺	1
Mg ²⁺	63
Al ³⁺	570

Промышленная площадка производства полистирола АО «Ангарский завод полимеров» включает три основных процесса:

- алкилирование бензола этиленом с получением этилбензола;
- дегидрирование этилбензола в стирол;
- полимеризацию стирола в полистирол.

Получение этилбензола проводится в присутствии каталитического комплекса на основе хлорида алюминия. Очистка продуктов алкилирования от данного катализатора перед дальнейшей переработкой осуществляется водной отмывкой. В результате образуются так называемые алюмохлоридные воды (АХВ), основными компонентами которых являются хлорид алюминия, ароматические углеводороды, а также гидроксид алюминия и соляная кислота, образующиеся в результате гидролиза хлорида алюминия:



Средний состав АХВ установки производства этилбензола приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Средний состав алюмохлоридной воды

Компонент	Контролируемые показатели	Норма по ТР
АХВ	Содержание ароматических углеводородов, мг/дм ³ , не более	60,0
	Водородный показатель (рН), ед.	1,5-5,0
	Содержание хлористого алюминия (AlCl ₃), г/дм ³	5-15

Исходя из состава АХВ можно предположить, что она может являться потенциаль-

ным коагулянт для процессов очистки ХЗВ производства полистирола.

Например, на промышленной площадке АО «АНХК» АХВ используется в качестве коагулянта для очистки нефтесодержащей воды нефтеперерабатывающего предприятия (НПП).

Цель данной работы – оценка возможности использования АХВ установки производства этилбензола в качестве коагулянта для очистки ХЗВ установки производства полистирола и замены действующего коагулянта – хлорида магния.

Лабораторные исследования коагуляционной активности АХВ проводили на лабораторной установке (рис. 1), которая включала реакционную емкость, перемешивающее устройство, систему подачи реагентов, систему контроля значений рН среды.



Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки

АХВ характеризуется высокой кислотностью (от 1,5 до 5,0). При этом максимальная полнота осаждения гидроксида алюминия наблюдается в интервале рН среды от 5,2 до 7,8 [3]. При более высоких значениях рН за счет амфотерных свойств гидроксид алюминия начинает взаимодействовать с гидроксидом натрия с образованием солей алюминиевых кислот – гидроксоалюминатов:



Для поддержания нужного значения рН взаимодействие АХВ с ХЗВ проводили в присутствии 20 %-го водного раствора гидроксида натрия.

В ходе работы варьировали:

– концентрацию коагулянта (АХВ): 100 мл, 200 мл, 250 мл на 1 литр ХЗВ;

– концентрацию флокулянта: 4,5 мл (промышленная дозировка), 7 мл (коэффициент избытка 1,5), 9 мл (коэффициент избытка

2,0) на 1 литр ХЗВ;

- рН системы за счет изменения количества раствора щелочи;
- время ввода флокулянта.

Анализы состава ХЗВ после очистки проводили в ЦЗЛ АО «АЗП». Для подбора концентрации коагулянта и флокулянта проводили контроль рН реакционной системы с использованием универсального индикатора, а также методом рН-метрии с использованием лабораторного иономера И-160 МП со стеклянным и хлорсеребряным электродом.

Экспериментальные результаты, полученные в ходе работы, приведены в таблице 4.

В целом, с увеличением дозировки АХВ эффективность обработки возрастает. Оптимальная концентрация АХВ составила 250 мг/л ХЗВ.

Как показывает анализ экспериментальных данных, приведенных в таблице 4,

оптимальный коэффициент избытка флокулянта составляет 1,5.

При такой дозировке флокулянта получена очищенная ХЗВ с минимальным содержанием сольвара (34,7 мг/л), взвешенных веществ (3,2 мг/л) и нефтепродуктов (0,12 мг/л).

Оптимальной схемой смешения реагентов выбрана следующая:

сток ХЗВ + коагулянт АХВ + флокулянт + добавление едкого натра

Такая дозировка позволяет обеспечить максимальную эффективность очистки.

Для повышения эффективности обработки стока производства полистирола была проведена коагуляция ХЗВ под действием АХВ и хлорида магния совместно. АХВ была использована для растворения хлорида магния, при этом его дозировка соответствовала промышленной.

Таблица 4 – Результаты очистки ХЗВ производства полистирола коагулянтами на основе АХВ и хлорида магния (MgCl₂)

Дата отбора ХЗВ	Содержание примесей до очистки, мг/л			рН МВР	Коагулянт	Коэффициент избытка флокулянта	Содержание примесей после очистки, мг/л			рН
	НП	сольвар	ВВ				НП	сольвар	ВВ	
04.03.2024	1,1	79,8	118	7,0	АХВ	1,0	–	46,7	–*	12,2
27.03.2024	0,05	75,5	173,5	7,1	MgCl ₂	1,0	4,4	–*	3,0	12,8
					АХВ	1,0	12,6	–*	6,3	12,1
09.04.2024	0,05	75,5	173,5	7,1	АХВ	1,5	0,12	59,4	3,7	9,6
23.05.2024	–	85,2	115	6,9	АХВ	1,0	0,85	80,18	3,2	8,9
					АХВ	2,0	0,89	80,13	3,5	7,6
13.06.2024	0,1	69,6	150	7,1	АХВ	1,5	0,57	34,7	3,4	8,5
					MgCl ₂	1,0	0,60	0,6	22,4	13,1

* – данный компонент не определялся

Таблица 5 – Результаты очистки ХЗВ производства полистирола при совместном использовании АХВ и хлорида магния (MgCl₂)

Дата отбора ХЗВ	Содержание примесей до очистки, мг/л			рН МВР	Коагулянт	Коэффициент избытка флокулянта	Содержание примесей после очистки, мг/л			рН
	НП	сольвар	ВВ				НП	сольвар	ВВ	
23.06.2024	0,09	102,1	220,0	7,0	АХВ + MgCl ₂	1,0	0,95	11,1	3,8	12,9

Результаты обработки представлены в таблице 5. Такой подход позволил обеспечить максимальную эффективность обработки: содержание сольвара составило 11,1 мг/л,

взвешенных веществ – 3,8 мг/л и содержанием нефтепродуктов 0,95 мг/л. Присутствие хлорида магния позволяет увеличить степень отделения сольвара, а АХВ обеспечивает бо-

лее полное удаление взвешенных веществ.

Также использование АХВ для приготовления раствора хлористого магния позволяет снизить расход промышленной воды и уменьшить количество сточных вод предприятия.

Таким образом, проведенные исследования показали, что:

– алюмохлоридная вода производства этилбензола может применяться в качестве

замены (альтернативы) промышленному коагулянту (хлориду магния); ее использование позволит проводить эффективную очистку сточных вод от взвешенных веществ, нефтепродуктов и сольвара;

– совместное использование АХВ и хлорида магния в качестве коагулянтов позволяет обеспечить эффективное удаление не только взвешенных примесей, но и сольвара до концентрации 11,1 мг/л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рынок полистирола: глобальные тенденции и прогноз на 2022-2029 годы. Март 2022.: <https://exactitudeconsultancy.com>

2. **Волкова А. В.** Рынок крупнотоннажных полимеров. Научно-исследовательский университет. Высшая школа экономики. Центр развития. – 2020. – 74 с.: <https://dcenter.hse.ru>

3. **Лурье Ю. Ю.** Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1965. – 390 с.

4. **Матюшенко А. И., Миронова О. В., Пазенко Т. Я., Колова А. Ф.** Исследования по выбору типа коагулянта на водозабо-

ре «Гремячий лог» г. Красноярска // Вестник ИрГТУ. – 2012. – Т. 64. – №5. – с. 129-133

5. **Сорокина И. Д., Дресвянников А. Ф.** Синтез и оценка эффективности использования железо-алюминиевого коагулянта для очистки воды // <https://cyberleninka.ru/article/n>

6. **Елхова В. Д., Абдрахимов Ю. Р., Елхов А. А., Лучинина Л. А., Тихонова Е. А.** Получение новых высокоэффективных коагулянтов из отходов производств // Башкирский химический журнал. – 2006. – Т. 13. – № 3. – с. 31-35.