

УДК 628.543.1

Тарчигина Наиля Фахрлисламовна

ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет»
Россия, Москва¹
Кандидат технических наук
Профессор
Доцент кафедры «Инженерная экология и альтернативная энергетика»
nailya5050@mail.ru

Павлухина Людмила Дмитриевна

ОАО «Воскресенские минеральные удобрения»
Россия, Воскресенск
Ведущий инженер-технолог

Кузнецова Ольга Николаевна

ОАО «Воскресенские минеральные удобрения»
Россия, Воскресенск
Технолог

Оптимизация технологических параметров флокулянтов для их использования в технологии очистки сточных вод в производстве фосфорсодержащих удобрений

¹ 129336, г. Москва, Стартовая, 31, 92

Аннотация. Негативное воздействие человека на природу - приобретает глобальный характер. В водах открытых водоёмов отмечается значительное повышение загрязняющих и вредных веществ. Усугубляющаяся экологическая ситуация и как следствие - возрастающие требования к качеству очищаемых сточных вод диктуют необходимость интенсификации работы действующих очистных сооружений, совершенствования методов. На очистку сточных вод и обезвоживание осадков существенное влияние оказывает природа и концентрация загрязнений, технологические параметры флокуляции и молекулярные характеристики флокулянтов. Флокуляционный метод очистки сточных вод и кондиционирования осадка остается одним из перспективных способов интенсификации работы существующих очистных сооружений, что обусловлено широким ассортиментом высокоэффективных флокулянтов, предлагаемых отечественными и зарубежными производителями. Использование флокулянтов на разных стадиях очистки промышленных сточных вод и обработки осадка позволяет повысить качество очищенной воды и увеличить пропускную способность очистных сооружений без значительных капитальных затрат. В данной работе рассматриваются вопросы совершенствования технологии очистки сточных вод и условий обработки осадка в производстве фосфорсодержащих удобрений, с применением флокулянтов. Результаты проведенных исследований позволяют целенаправленно и обосновано подойти к проблеме выбора наиболее эффективного флокулянта и технологических параметров его применения в производстве минеральных удобрений.

Ключевые слова: сточные воды; флокулянт; коагуляционная очистка; фторосаждение; шлам; бентонитовые глины; суспензия; седиментационный анализ; влажность; осветление.

Охрана окружающей среды - это комплексная программа мероприятий, направленных на сохранение, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов. Кардинальное решение проблемы охраны окружающей среды состоит в разработке и внедрении экологически безопасных, безотходных технологических процессов и производств, модернизации действующих предприятий, замене устаревших процессов, повышении качества очистки выбросов.

Вода – ценнейший природный ресурс. Рост городов, развитие промышленности и сельского хозяйства, улучшение культурно-бытовых условий и ряд других факторов все больше приводит к тому, что с каждым годом потребности в чистой воде возрастают. В последнее время в водах открытых водоёмов отмечается значительное повышение содержания тяжёлых металлов, нефтепродуктов, трудно окисляемых органических соединений, синтетических поверхностно - активных веществ, пестицидов и других загрязнений вследствие сброса промышленными и коммунальными предприятиями недостаточно очищенных сточных вод. Решение экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды сточными водами и образующими осадками, требуют совершенствования методов и сооружений для их очистки.

Проблема очистки промышленных вод в настоящее время является актуальной. Сложность и неоднозначность данной проблемы обусловлена большим разнообразием промышленных технологий. Выбор технологической схемы очистки стоков зависит от многих факторов: типа производства, исходного сырья, требований к качеству и объёмов очищаемых сточных вод. Выбор очистных сооружений предусматривает комплексную оценку производственных условий: наличие имеющегося очистного оборудования, производственных площадей для модернизации имеющегося и размещения нового оборудования.

Одним из способов интенсификации существующих технологий очистки природных и сточных вод и обработки осадка является использование флокулянтов. В этой связи выбор наиболее эффективного флокулянта для каждого конкретного случая очистки воды и обработки осадка требует проведения длительных и трудоёмких исследований, которые не всегда могут привести к оптимальному техническому решению. Облегчить эту задачу поможет знание характеристик флокулянтов, свойств их водных растворов, закономерностей флокуляционного процесса и методов его оптимизации.

Одно из крупнейших в России и СНГ производителей минеральных удобрений ОАО «Воскресенские минеральные удобрения», входящее в структуру ОАО «УРАЛХИМ», расположено в городе Воскресенске в районе сосновых лесов Мещерской низменности, на равнинной местности, в непосредственной близости от реки - Москвы в которую и осуществляется сброс сточных вод.

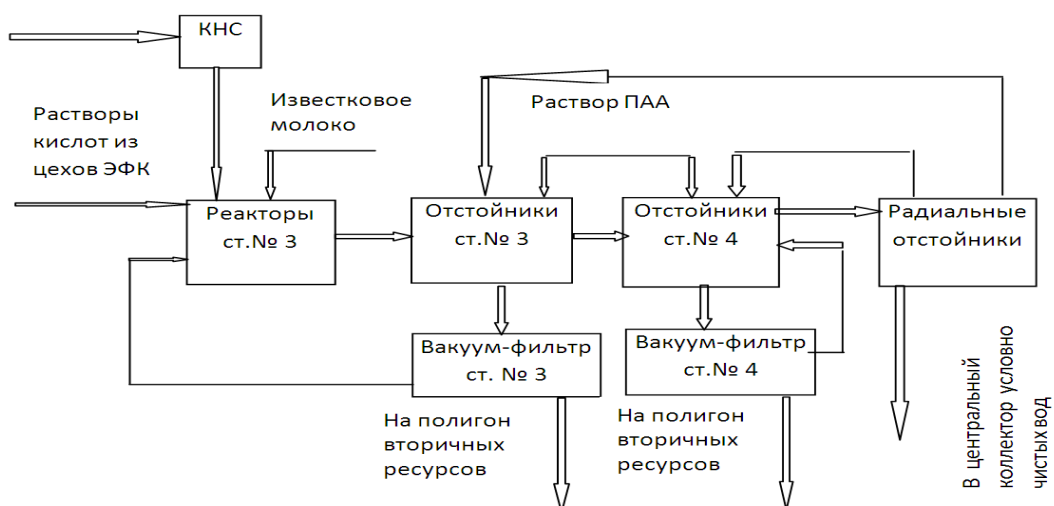


Рис.1. Принципиальная блок – схема фторосаждения цехов ЭФК

Предприятие имеет собственный водозабор, откуда вода берётся на технологические нужды. Источниками загрязнения сточных вод являются цеха по производству экстракционной фосфорной кислоты ЭФК (методом сернокислотного разложения апатитового концентрата в полугидратном режиме с последующей упаркой до массовой доли P₂O₅ не менее 52%). Цех по производству серной кислоты (СКЦ), методом двойного контактирования – двойной абсорбции.

В отделение фторосаждения поступают растворы кремнефтористоводородной кислоты, загрязненные растворами фосфорной кислоты, от цехов ЭФК, а также отработанные растворы серной кислоты цеха СКЦ (рис.1).

Объем и качество растворов кремнефтористоводородной и серной кислот изменяется в зависимости от режима работы соответствующих цехов. Изменение качества сточных вод приведено в таблице 1.

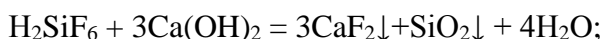
Таблица 1

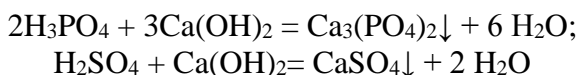
Характеристика сточных вод

Наименование	Показатели			
	pH	F	P ₂ O ₅	H ₂ SO ₄
	-	г/л	г/л	г/л
Норма	не <2	не >15	не >1.	не >5,0
Цех ЭФК-3		не >27	не >3	
Цех ЭФК-4		не >25	не >5	
СКЦ				не >5,0
КНС		не >27	не >3	не >5,0

Растворы кремнефтористоводородной, фосфорной кислот по трубопроводам поступают в смесители. Сюда же перекачиваются слабые растворы серной кислоты из канализационно - насосной станции (КНС), в которую по подземному коллектору собираются сточные воды СК. После смешения растворы кремнефтористоводородной, фосфорной и серной кислот направляются в реакторы, куда также подаётся осаждающий реагент – раствор гидроксида кальция (известковое молоко).

Процесс нейтрализации растворов кислот известковым молоком протекает по реакции:





Продукт отделения фторосаждения - осветлённая вода, представляющая собой жидкость светло-зелёного цвета, соответствующая следующим нормам. Массовая концентрация водорастворимого фтора не более 20 мг/дм³, массовая концентрация водорастворимых фосфат-ионов в пересчёте на P₂O₅ не более 10 мг/дм³. массовая концентрация взвешенных веществ не более 60 мг/дм³, значение водородного показателя рН=7÷ 9 ед. рН.

Для очистки сточных вод, образующихся в технологии минеральных удобрений, экстракционной фосфорной кислоты, правильно выбранный флокулянт имеет большое значение. Использование флокулянтов на разных стадиях очистки промышленных сточных вод и обработки осадка позволяет повысить качество очищенной воды и увеличить пропускную способность очистных сооружений без значительных капитальных затрат. Они могут быть использованы на стадии: механической очистки для увеличения эффекта осветления в отстойниках и флотаторах; коагуляционной очистки для сокращения дозы коагулянта и увеличения эффективности осветления сточной воды, биологической очистки для увеличения производительности вторичных отстойников и коагуляционной очистки воды от соединений фосфора на стадии глубокой очистки воды фильтрованием [7].

Целью исследования явилось усовершенствование флокуляционной очистки промышленных сточных вод и условий обработки осадка, что позволило целенаправленно и обосновано подойти к проблеме выбора наиболее эффективного флокулянта и технологических параметров его применения в производстве минеральных удобрений (рис.2)

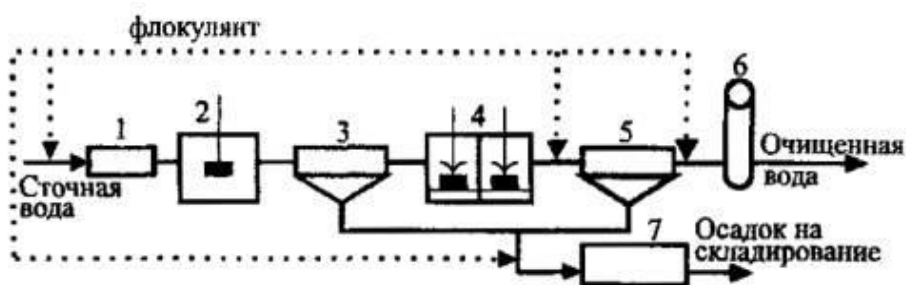


Рис. 2. Блок-схема глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов: 1, 2 - смешение и флокуляция; 3 - механическая очистка; 4, 5 - биологическая очистка; 6 - глубокая очистка; 7 - обезвоживание осадка

Исследования с нейтрализованной суспензией проводили с флокулянтами Nalko: №71300, 71301, 71302, 71303, 71308, 71309, 7750, 7752, 3001, 7132, 8103, 9601, 9901, 9908, 9909; а также с Praestol 2500, 2515, 2530, 2540, 853BC, 852BC. Обработку проводили растворами реальных нейтрализованных суспензий сточных вод состава: рН-8,2; F-17,33мг/дм³; P₂O₅-9,2 мг/дм³; взвешенные вещества-40,5 г/дм³.

Таблица 2

Результаты исследований флокулянтов при осветлении нейтрализованной суспензии сточных вод

Флокулянты №№	С флок. %	Доза, мг/дм ³	Изменение границы фаз, см.			Восвет. м/час	Вода в шламе, %
			1 мин.	2 мин.	3 мин.		
2500	0,1	0,5	3,6	6,5	9	1,8	62,9
2515	0,1	0,5	4,2	6,8	9	1,8	63
2530	0,1	0,5	4	7,6	10,5	2,1	64
7132	0,1	0,5	3,3	6	8,2	1,64	62,6
3001	0,1	0,5	3,5	6,5	8,6	1,72	61,6
ПАА	0,05	0,5	3,5	6,6	9,4	1,88	62,1
ПАА	0,05	0,5	4	10	15,5	3,1	65,6
Пр- 650	0,05	0,5	4	11	16	3,2	65,9
2530	0,1	0,5	5	10	16,5	3,3	62,5
3001	0,1	0,5	5	10	16	3,2	62,7
7132	0,1	0,5	4	9	13	2,7	65,2
8103	0,1	0,5	4	8	12,5	2,5	64,9
852BC	0,1	0,5	1,5	5	8	1,6	67,2
853BC	0,1	0,5	1,2	2,8	4	0,8	66,8
ПАА с б.г.	0,05	0,5	3	9,5	12	2,4	65
2530 с б.г.	0,1	0,5	2,5	5,2	8,9	1,78	64,7
2530	0,1	0,5	2	5	8	1,6	65
ПАА	0,05	0,5	3	6	8,8	1,72	65,8

Для связывания влаги в шламе применяли бентонитовые глины. Данные флокулянты позволяют ускорить процесс хлопьеобразования при отстаивании нейтрализованной суспензии и уменьшить влажность шлама в отделении фторосаждения, куда поступают сточные воды, загрязненные фторидами, фосфатами, сульфатами. Сравнение эффективности вышеприведенных реагентов проводилось в присутствии флокулянта полиакриламида ПАА А-631 марки А-1510 с концентрацией 0,05 %. Концентрация рабочих исследуемых флокулянтов составляла 0,1-1,0 %, доза 100%-го расхода флокулянтов изменялась от 0,5 до 10 мг/дм³, доза бентонитовых глин от 30 до 50 мг/дм³. По кинетическим кривым изменения границы фаз определяли скорость осветления нейтрализованной суспензии, а осветленную часть анализировали на содержание фтора, оксида фосфора и взвешенных веществ (табл. 2, Рис. 3).

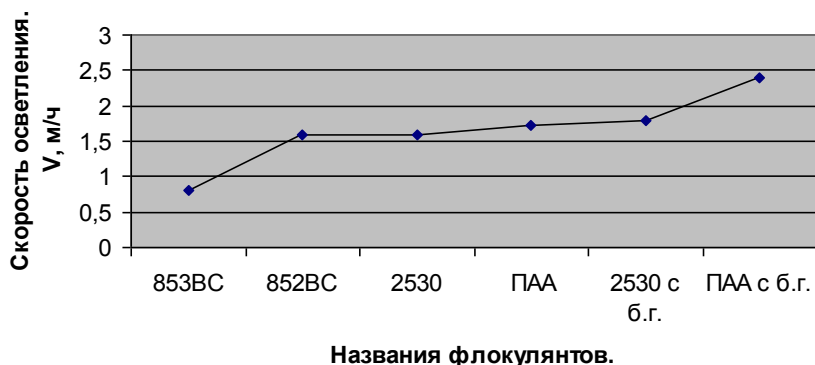


Рис. 3. Изменение скорости осветления нейтрализованной суспензии

Из полученных результатов следует, что ПАА не уступает флокулянтам других фирм. Скорость осветления суспензий при добавлении ПАА ниже только скорости осветления в присутствии флокулянтов Praestol 2530, 650 и Nalko 3001. Введение бентонитовой глины позволило увеличить скорость осветления суспензии с ПАА с 1,72м/час до 2,4м/час.

Результаты фильтрации сгущенных в течение суток нейтрализованных суспензий, обработанных лучшими флокулянтами показали, что влажность шлама, полученного из суспензии и обработанной растворами флокулянтов Praesto 2530, составила 64%, а раствором флокулянта Nalko 3001 - 62,7%, что ниже влажности шлама применяемого в настоящее время ПАА (65,6%). Результаты фильтрации сгущенной нейтрализованной суспензии в течение суток, обработанной ПАА и флокулянтом 2530 с применением бентонитовой глины показали, что при ее добавлении часть влаги забирается и шлам становится суше.

Исследование по обработке сгущенной суспензии различным флокулянтами
Соотношение Т / Ж в сгущенной суспензии поддерживалось в интервале 1/5,0- 1/7,5, что способствовало созданию равных условий для оценки эффективности флокулянтов, вводимых в сгущенную суспензию, и параметров фильтрации обработанных суспензий (скорость фильтрации, остаточное содержание взвешенных в фильтрате). Результаты исследований показали, что в фильтрате сгущенной суспензии, необработанной флокулянтами, количество взвешенных веществ составляет 42,4 г/дм³, что вполне закономерно, так как в ней содержится максимальное количество частиц шлама менее 1-5 микрон, которые проходят через поры ткани полотна. При флокуляции суспензии количество взвесей значительно сократилось, что обусловлено укрупнением частиц шлама флокулянтами вводимых реагентов.

Как, следует из данных седиментационного анализа, при обработке сгущенной суспензии флокулянтами происходит перераспределение размера частиц в сторону увеличения, но не столь существенно. Основной диапазон размера частиц шлама при этом не изменяется и колеблется от 5 до 50 микрон максимально, что вполне сопоставимо с размером пор в применяемом для фильтрования полотне. Доля более крупных частиц шлама от 20 до 50 микрон возрастает с 5,71 % без обработки до 12,55 %, при обработке сгущенного шлама раствором ПАА. При фильтрации такой пробы крупные частицы меньше проскакивают через поры полотна и задерживают проскок мелких частиц в фильтрат, в связи, с чем качество фильтрата улучшается по сравнению с исходной суспензией. При обработке суспензии раствором флокулянта Praestol 2530, диапазон более крупных частиц сдвинут больше в сторону размера от 10 до 50 микрон (с 41,94 до 50,68 %), что препятствует прохождению мелких частиц через поры полотна, а количество взвешенных веществ в фильтрате меньше 25,37 г/дм³, чем при обработке суспензии ПАА -35,11 г/дм³. При этом в фильтрате исходной суспензии, необработанной флокулянтами, содержание взвешенных частиц составило 64,8 г/дм³ (рис.4).

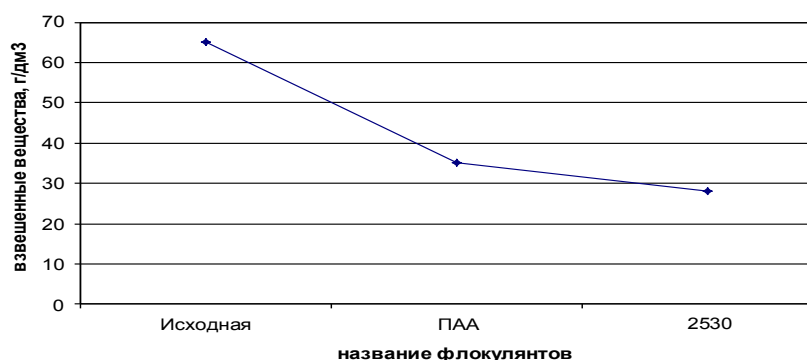


Рис.4. Изменение взвешенных веществ в фильтрате

При исследовании эффективных флокулянтов большое значение имеет доза вводимого реагента. Сопоставление минимальных показателей влажности шламов, в присутствии эффективных флокулянтов и их доз показали, что два образца Nalko 3001 и Praestol 2530, более предпочтительны, чем применяемые в настоящее время ПАА. Доза ввода эффективных флокулянтов в сгущенную суспензию составила минимальное значение: для Nalko 3001 – 0,048г/дм³, Praestol 2530 - 0,024г/дм³ при одинаковых значениях влажности шлама 62,4 ÷ 62,5%. Однако достигнутый показатель влажности шлама при этом 60,8-62,6% недостаточно низок по отношению к показателям влажности шлама при добавлении ПАА (56,6 – 63,1%). Проведённые опыты с бентонитовыми глинами показали, что при добавлении их в сгущенную суспензию влажность шлама становится наименьшей, чем с применением флокулянтов. Причём влажность шлама в присутствии бентонитовых глин ниже чем влажность шлама из необработанной суспензии на 3,8 - 4,3%. В связи с чем рекомендовано для обработки суспензии использовать бентонитовые глины (табл.3).

Таблица 3

Результаты исследований по обработке суспензии сточных вод

Флокулянты	Доза, г/дм ³	Образование шлама, мин	Вес шлама, г	Толщина шлама, мм	Вода в шламе, %	Отлипание от полотна
852BC	0,04	2'35	64,64	13	64,1	хорошее
853BC	0,04	2'45	70,35	13	63,6	хорошее
ПАА с б. г. Тольятти	0,02	3'	69,86	14	60,5	хорошее
ПАА с б. г. Хакассия	0,02	3'	70,19	12	61,5	отличное
2530	0,024	2'30	60,08	12	62,5	хорошее
Б. г. Тольятти	20	3'10	72,4	13	59,2	отличное
ПАА	0,04	2'50	65,3	13	63,6	хорошее
Пр-650	0,04	2'20	66,18	13	62,5	хорошее
3001	0,048	2'20	63,88	13	62,4	хорошее
Б. г. Тольятти	20	2'50	67,7	12	59,6	отличное
Б. г. Хакассия	20	2'30	60,68	13	59,1	отличное
Б. г. Тольятти	12	2'50	72,56	14	59,5	хорошее
ПАА с б.г. Тольятти	0,08	2' 50	78,1	15	61,9	хорошее
ПАА с б.г. Тольятти	0,06	2' 40	74,73	13	60,8	отличное
Исходная	-	3' 15	72,57	13	63,4	хорошее

Выводы

Флокуляционный метод очистки сточных вод и кондиционирования осадка остается одним из перспективных методов. В результате проведенных исследований по обработке нейтрализованной и сгущенной суспензии сточных вод новыми видами флокулянтов Nalko, Praestol, фирмы «Дегусса Евразия», а также растворами бентонитовых глин установлено, что наиболее высокий эффект по скорости разделения жидкой и твердой фаз в нейтрализованной суспензии показали флокулянты ПАА, Nalko 3001 и Praestol 2530.

Добавление в суспензию бентонитовых глин совместно с эффективными флокулянтами ПАА и Praestol 2530 позволило увеличить скорость осветления нейтрализованной суспензии с 1,6 – 1,72 м/час до 1,8 – 2,4 м/час (на 12,5 ÷ 40%). Влажность шлама, полученного при сгущении нейтрализованной суспензии, обработанной эффективными флокулянтами ПАА, Nalko 3001 и Praestol 2530 изменяется от 61,6- 62,7% (Nalko 3001) до 62,5- 64% (Praestol 2530), что ниже чем влажность шлама при добавке ПАА (62,1- 65,6%). Влажность шлама полученного из нейтрализованной суспензии, обработанной наиболее эффективными флокулянтами № 3001 и № 2530 ниже чем при использовании ПАА на 0,5-2,8%, что весьма недостаточно для рекомендаций их к использованию. При обработке сгущенной суспензии флокулянтами Nalko и Praestol их дозы увеличиваются и достигают 24- 80 мг/дм³ по сравнению с дозами флокулянтов, вводимых в нейтрализованную суспензию (0,5- 1,0 мг/дм³).

Наименьшие показатели влажности шлама достигнуты при фильтрации сгущенной суспензии, обработанной флокулянтами фирмы Nalko 3001 (59,7-60,8%) и Praestol флокулянта 2530 (60,8- 61,1%) по сравнению с влажностью исходной пульпы (60-62,8%) в отсутствие обработки. Высокая эффективность флокулянтов 3001 и 2530 по снижению влажности шлама достигнута при наименьших дозах обработки, которая составила 48 мг/дм³ (№ 3001) и 24 мг/дм³ (№ 2530). Исследования по обработке сгущенной суспензии наиболее эффективными флокулянтами 3001 и 2530 показали, что влажность шлама ниже исходной влажности шлама в отсутствие обработки на 0,3- 3,1%, что недостаточно для рекомендаций к их использованию. Использование растворов бентонитовой глины для обработки сгущенной суспензии, приводит к связыванию свободной воды и снижает влажность шлама на 3,8-4,3% (59,1- 59,6%) по сравнению с исходной (63,4%). Минимальная доза бентонитовой глины для обработки 1 м³ сгущенной суспензии составляет 12,0 кг.

На основании проведенных лабораторных исследований рекомендовано провести испытания по обработке суспензии в вакуум-фильтрах растворами бентонитовой глины.

Применение нового реагента даёт возможность с небольшими капитальными затратами повысить эффект очистки сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гандурина Л.В. Очистка сточных вод с применением синтетических флокулянтов. М.: Дар /Водгео, 2007. 198с.
2. Водорастворимые полиэлектролиты-флокулянты в процессах водоподготовки / А. В. Гречаников, А. П. Платонов, А. А. Трутнёв, С. Г. Ковчур // Вестник ВГТУ, 2010. № 19. С. 107–111.
3. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманец С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М.: Наука, 2005. 576 с.
4. Калыгин А.В. Промышленная экология: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Издательский центр "Академия", 2004. 432 с.
5. Разделение суспензий в химической промышленности / Т.А. Малиновская, И.А. Кобринский, О.С. Кирсанов, В.В. Рейнфарт. М.: Химия, 1983 .264с.
6. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко, Р.М. Марутовский. И.Г. Рода. М.: Химия, 1983. 288с.
7. Павлухина Л.Д., Сидорова А.В., Тарчигина Н.Ф. Исследование нейтрализации фторсодержащих сточных вод альтернативными кальцийсодержащими реагентами. //Материалы III Международной научно-технической конференции «Нестационарные энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии» (НЭРПО-2013). М.:МГОУ, 2013. С. 71-74.
8. Панов В. П., Нифонтов Ю. А., Панин А. В. Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 320 с.
9. Проскуряков В. А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия, 1977. 464с.
10. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления: учебное пособие. М.: Колос, 2003. 230 с.

Рецензент: Ефремов Герман Иванович, профессор, доктор технических наук, Институт инженерной экологии и химического машиностроения.

Ludmila Pavlukhina

JSC «Voskresensk Mineral Fertilizers»
Russia, Voskresensk

Olga Kuznetsova

JSC «Voskresensk Mineral Fertilizers»
Russia, Voskresensk

Naila Tarchigina

Moscow State Technical University «MAMI»
Russia, Moscow
nailya5050@mail.ru

Optimization of technological parameters of flocculants for their using in wastewater treatment technology in production of phosphate fertilizers

Abstract. The negative impact of man on nature becomes global. In the open water there is a significant increase in pollutants and harmful substances. The deteriorating of environmental situation and increasing requirements for the quality of treated wastewater as a result dictate the necessity to intensification of the existing wastewater treatment facilities and improvements of methods. Nature and concentration of pollutants, technical parameters of flocculation and molecular characteristics of flocculants have a significant impact on the treatment of wastewater and dehydration of sludge. Flocculation method of wastewater treatment and sludge conditioning is one of the most promising ways of intensification of existing treatment facilities which is caused by a wide range of high-performance flocculants offered by domestic and foreign manufactures. The use of flocculants at different steps of treatment of industrial wastewater and sludge treatment allows to improve the quality of treated water and increase the throughput of treatment facilities without significant capital investment. This article discusses the issues of improving the technologies of wastewater treatment and sludge treatment conditions in the production of phosphate fertilizers with the use of flocculants. The results of these studies allow us purposefully and reasonably approach to the problem of choosing the most effective flocculant and technological parameters of its application in the production of mineral fertilizers.

Keywords: wastewater; flocculant; coagulation treatment; forecaddie; sludge; betonite clay; suspension; sedimentation analysis; humidity; clarification.

REFERENCES

1. Gandurina L.V. Sewage treatment with application of synthetic flokulyant. M.: Gift/Vodgeo, 2007. 198s.
2. Water-soluble polyelectrolytes-flokulyanty in water treatment processes / A. V. Grechanikov, A. P. Platonov, A. A. Trutn • v, S. G. Kovchur//the VGTU Bulletin, 2010. No. 19. Page 107-111.
3. Draginsky V. L., Alekseeva L.P., Getmanets S. V. Coagulation in technology of purification of natural waters. M.: Science, 2005. 576 pages.
4. Kalygin A.V. Industrial ecology: manual for students of higher educational institutions. M.: Publishing center "Akademiya", 2004. 432 pages.
5. Division of suspensions in chemical industry / T.A. Malinovskaya, I.A. Kobrinsky, O. S. Kirsanov, V. V. Reynfart. M.: Chemistry, 1983.264s.
6. Cleaning and use of sewage in industrial water supply / A.M. Koganovsky, N. A. Klimenko, T.M. Levchenko, P.M. Marutovsky. I.G. Rod. M.: Chemistry, 1983. 288s.
7. Pavlukhina L.D., Sidorova A.V., Tarchigina N. F. Research of neutralization of fluorinated sewage alternative kaltsiysoderzhashchy реагентами.//Materials III of the International scientific and technical conference "The Non-stationary Power — both Resource-saving Processes and the Equipment in Chemical, Nano — and Biotechnologies" (NERPO-2013). M.: MGOU, 2013. Page 71-74.
8. ПановВ. Item, Nifontov Yu. A., Panin A. V. Theoretical bases of environment protection: manual. M.: Publishing center "Akademiya", 2008. 320 pages.
9. Proskuryakov V. A., Shmidt L.I. Sewage treatment in chemical industry. L.: Chemistry, 1977. 464s.
10. Smetanin V. I. Environment protection against production wastes and consumption: manual. M.: Ear, 2003.230s.