

Проблема обработки осадков природных вод в аспекте их утилизации

Михневич Э.И., Чижов Я.В.
(БГПА)

Развитие промышленного производства, транспорта, а также жилищное строительство и повышение степени благоустройства населенных пунктов Республики Беларусь приводит к увеличению потребления воды, в процессе очистки которой образуется значительное количество железо-содержащего осадка. До последнего времени практической обработке осадков не уделялось достаточно внимания, и лишь резкое ухудшение состояния окружающей среды и, в частности, качества воды основных источников, побуждает ответственные органы принимать срочные меры, нацеленные на запрет дальнейшего загрязнения источников водоснабжения различными отходами, в том числе продуктами, образующимися при очистке природных вод. Одновременно все большую актуальность приобретает поиск путей утилизации различных отходов.

Успешное решение этой проблемы требует изучения состава, структуры и свойств водопроводного осадка, выявления изменения его исходных свойств при конденционировании и процесса протекания реакций с реагентами, а также определения оптимальных параметров различных технологических схем применительно к местным условиям. При успешной реализации этой задачи открываются перспективы улучшения состояния окружающей среды с одновременным частичным снабжением промышленности районов железо-содержащим коагулянтном, приготовленным в местных условиях.

Если систематизировать способы обработки осадков, то основные направления можно свести к естественным и искусственным методам обработки осадков:

Естественные методы обработки водопроводных осадков:

- Сброс в поверхностные воды. Является наиболее распространенным, но неприемлемым, т.к. способствует еще большему загрязнению поверхностных вод. В результате возникают иловые насосы, повышается потребность в растворенном кислороде, что приводит к ухудшению качества поверхностных вод.
- Сброс в пруды-накопители. Получил широкое распространение во многих странах. Пруды-накопители представляют собой земляные емкости с отводом осветленной воды в поверхностные водоисточники. Применение прудов-накопителей позволяет достичь средней

концентрации твердых веществ в осадке до 6-7% (станция Шоремонт, США), при этом она составляет 1,7% в верхнем слое и 10% у дна.

- Удаление на площадки вымораживания. Является наиболее распространенным методом в районах с достаточным количеством свободных земельных площадей.

Искусственные методы обработки и удаления водопроводных осадков:

- Обезвоживание на вакуум-прессах и вакуум-фильтрах. Например, при добавлении к осадку, содержащему гидроксид железа, мартеновой пыли (при дозе более 20 г/л) их производительность увеличивается в 2,5-3 раза, в этом случае объем кека уменьшается на 25-30%. Полученная субстанция широко используется для обезвоживания осадков сточных вод. Бройен и Жер отмечают, что вакуум-фильтрование является эффективным методом обработки водопроводного осадка, который обезвоживается на вакуум-фильтрах с нанесенным грунтовым слоем до содержания твердых веществ около 20%.

- Обработка реагентами. Использование минеральных коагулянтов $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ практически не улучшает водоотдающей способности водопроводных осадков, содержащих в своем составе гидроксид алюминия. Однако введение присадочных материалов с химическими реагентами (кислотами, щелочами) позволяет улучшить подготовку осадков к обезвоживанию.

- Замораживание-оттаивание. При применении этого способа эффект разделения достигается такой же, как и в случае с естественным замораживанием-оттаиванием, однако потребление энергии составляет 40-60 кВт ч/м³ осадка.

Рассмотрим реагентные методы, как наиболее перспективные, более подробно. Сущность кислотной обработки заключается в растворении гидроксида металлов в сильноокислой среде ($\text{pH} = 2 - 3$). Однако до сих пор отсутствует достаточно обоснованные и однозначные рекомендации по проведению кислотной регенерации.

Анализ литературных источников свидетельствует о расхождениях не только в рекомендациях процесса регенерации, но и в методах его контроля [2]. Причина состоит в сложности механизма взаимодействия гелей гидроокисей с кислотой, который лежит в основе процесса регенерации.

Томас Грэм установил, что этот механизм происходит в две ступени: гель превращается в золь, а затем золь превращается в раствор.

Превращение геля в золь сопровождается пептизацией. Особенностью протекания этого процесса с гидроксидом алюминия является его термодинамическая неравномерность: коллоидные частицы могут изменять свою структуру не только под действием внешних факторов (механическое обезвоживание), но и самопроизвольно с течением времени (переход из аморфного состояния в кристаллическое). Г.И.Рабинович отмечает, что эти явления в осадке делают его химически инертным к воздействию на него разбавленных кислот и щелочей.

В НИИ Мосводоканалпроект проводились исследования по кислотной обработке осадков Северной водопроводной станции Москвы [7]. Количество алюминия достигало 75% при обработке осадка влажностью 99%. Основными факторами были концентрация твердых веществ в осадке, количество добавленной кислоты (рН реакционной смеси) и продолжительность перемешивания. Обработка осадка кислотой считается экономичной при условии содержания в осадке СаО от 1 до 10%. Расход кислоты составляет от 2,86 до 4,7 грамм на грамм извлеченной окиси алюминия.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие показатели:

- высокий коэффициент регенерации осадка, достигающий 80%;
- значительное сокращение объема обработанного осадка – в 5-7 раз.

К недостаткам относится следующее:

- необходимость строительства и эксплуатации небезопасного кислотного хозяйства;
- высокий расход кислоты (на восстановление 1 кг алюминия требуется 5 кг кислоты);
- значительное загрязнение регенерированного коагулянта органическими веществами.

Из-за перечисленных недостатков метод кислотной регенерации осадка не нашел широкого применения на станциях водоочистки.

Использование водопроводного осадка при обработке сточных вод является одним из перспективных методов и может быть применен для:

- интенсификации работы первичных отстойников;
- извлечения из стоков фосфатов;
- улучшения водоотводящих свойств осадков.

Использование осадка в ряде случаев может позволить отказаться от применения таких химических реагентов как FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или значительно сократить их расход. Эффективность работы первичных отстойников может быть повышена на 10-15%. При дозе

60-70 г/м³ в первичных отстойниках осаждаются до 90-92% водопроводного осадка. При этом на 10-15% улучшается эффект очистки по БПК ХПК, на 22-25% лучше осаждаются взвешенные вещества.

Добавление осадка непосредственно к осадку сточных вод существенно улучшило водоотдающие способности канализационного осадка с Унгенской, Корнештской и Кишиневской станции биологической очистки (Молдова).

Растворение гидроксида алюминия и железа происходит не только в кислой, но и сильно щелочной среде. На этом и основан принцип регенерации алюмосодержащего коагулянта из водопроводных осадков.

Исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что при обработке осадка щелочами возможно восстановление 50-60% содержащегося в нем алюминия. По мнению ряда исследователей, при щелочной регенерации получается более чистый реагент, при этом не требуется использование вредных в производстве кислот. В качестве щелочного реагента может использоваться известь, применяемая на многих водоочистных станциях.

Оптимальными параметрами процесса являются:

- концентрация Al_2O_3 1-3 г/л;
- доза извести по CaO 3 г/г Al_2O_3 , стехиометрический коэффициент при расходе извести по CaO 1,3-1,7 г/г;
- $pH=11,2-11,7$;
- время перемешивания 1-2 минуты;
- время гидравлического разделения 1-1,5 часа.

При указанных условиях ведения регенерации, концентрация ионов алюминия в растворе регенерированного коагулянта составляет 400-600 мг/л, эффективность регенерации 20-40%.

Оставшийся после регенерации осадок хорошо уплотняется и обезвоживается. Однако другие исследователи отмечают, что степень щелочной регенерации в ряде случаев не превышает 20-30% при очень большом расходе щелочей (150-200% извести). Снижается по сравнению с сернистым алюминием и активность регенерированного коагулянта. К подобным выводам пришел и Лазарев В.В., проводивший эксперименты по щелочной обработке водопроводного осадка Кишиневской, Унгенской и Корнештской станций очистки природных вод. Получаемый раствор регенерированного коагулянта – вряд ли найдет широкое применение на водоочистных станциях

Молдовы. И, если при обработке поверхностных вод его использование (совместно с сульфатом алюминия) может быть приемлемым, то очистка высокощелочных подземных вод щелочным коагулянтом малоэффективна.

К другим методам можно отнести метод обработки водопроводного гидроксидного шлама жидким хлором и жидкостный ионообмен.

При обработке хлором удастся регенерировать до 70% алюминия, содержащегося в водопроводном осадке. Одновременно с этим происходит полное обеззараживание оставшегося после регенерации шлама, а регенерированный коагулянт обладает бактерицидными свойствами. По мнению исследователей, обработка осадка газообразным хлором является вполне конкурентоспособным методом регенерации из него коагулянта. Однако весьма сложным и небезопасным представляется сам технологический процесс хлорирования водопроводных осадков.

Метод жидкостного ионообменного восстановления алюминия из осадка водопроводных станций близок к методу кислотной регенерации. И в том и в другом случае доводят рН осадка до 2. А далее при жидкостном ионообмене в подкисленный осадок вводят специальную органическую жидкость, которая, обладая селективными свойствами, выделяет из осадка ионы алюминия, оставляя в нем все основные компоненты (металлы и органические загрязнения). Метод, без сомнения, перспективен, но в ближайшее время на наших водоочистных станциях вряд ли найдет применение из-за высокой стоимости и отсутствия жидких селективных ионообменников.

Одним из наиболее перспективных методов утилизации водопроводного осадка является его использование при обработке сточных вод. На канализационных станциях водопроводный осадок может применяться для:

- интенсификации работы первичных отстойников;
- извлечения из осадков фосфатов;
- улучшения водоотдающих свойств канализационных осадков.

Использование водопроводного осадка в ряде случаев может позволить отказаться от применения таких химических реагентов, как сернокислородное и хлорное железо, или значительно сократить их расход. Интенсификация процессов осаждения происходит за счет адсорбции хлопьевидным гидроксидом алюминия взвеси и илистых частиц, присутствующих в сточной воде, их агломерации и соответствующего утяжеления. Эффективность работы первичных отстойников может быть повышена на 15-25%, при этом в них задерживается большая

часть вводимого в них водопроводного осадка. Часть выносимого из первичных отстойников гидроксида алюминия ни в коей мере не ухудшает работу сооружений биологической очистки, так как Al_2O_3 не подавляет жизнедеятельность микрофлоры (клеток активного ила и биопленки).

Сотрудниками ГМП «Каскадэ» в лабораторных условиях (поисковый эксперимент) было апробировано смешение водопроводного осадка Кашиневской ЦДВС-2 со стоками, поступающими на станцию биологической очистки (СБО), и имитировано осаждение взвеси в первичных отстойниках. Дозу водопроводного осадка приняли, исходя из условий сброса на канализационные очистные сооружения всего осадка, образующегося на ЦДВС-2. Ориентировочно с водопроводной станции ежедневно требуется удалять от 20 до 24 тонн (по сухому веществу) осадка. При производительности СБО 300-350 тыс. куб. м в сутки, средняя доза осадка составила 60-70 г/куб. м.

Как показали проведенные эксперименты, при такой дозе в первичных отстойниках осаждается 90-92% водопроводного осадка. При этом на 10-15% увеличивается эффективность их очистки по БПК₅ и ХПК, на 22-25% лучше осаждаются взвешенные вещества. Лучшему осаждению способствовала не только добавка адсорбента в виде гидроксида алюминия, но и введение в стоки утяжеляющей добавки – глинистых частиц, извлеченных ранее из речной воды. Снижение БПК₅ и ХПК происходило за счет повышения адсорбционной способности осаждаемой хлопьевидной взвеси.

Изменение концентрации фосфатов в стоках СБО не контролировалось, хотя, по некоторым литературным данным, известно, что в результате соосаждения и сорбции гидроксидом алюминия (не полностью использованным в водопроводном осадке) происходит некоторое понижение содержания PO_4 . Поэтому для повышения эффективности рекомендуется применять не сам гидроокисный осадок, а адсорбент – активированную окись алюминия, полученную путем термической обработки этого осадка. Еще больше повысить сорбционную емкость окиси алюминия можно за счет ее кислотной или щелочной обработки с последующей сушкой.

Следует отметить, что полученный подобным образом адсорбент позволяет адсорбировать, кроме фосфатов, органический углерод, ароматические соединения, соединения меди, азота и другие элементы. Однако сложность приготовления и последующей регенерации (кислотами или щелочами) данного сорбента сдерживает его широкое

применение. Поэтому в качестве реальной перспективы следует рассматривать возможность использования необработанного (или частично уплотненного) осадка водопроводных станций.

Обезвоженный осадок водоочистных станций может с успехом применяться и при производстве различных строительных материалов. Добавка водопроводного осадка к исходному сырью способствует значительному повышению прочности бетона, цементных изделий, керамических материалов, кирпича, пористых заполнителей и других материалов. При этом удается существенно сократить, а в ряде случаев и совсем отказаться от использования дефицитного глинистого сырья. Так, например, при добавлении в раствор глины для производства кирпича 10% осадка, прочность обожженного изделия повышается на 15-25%.

Описание выше пути утилизации осадков в исследованиях авторов относились, в основном, к алюминий содержащим веществам, поскольку при обработке природных вод наиболее широкое распространение получили коагулянты, содержащие в своем составе алюминий. В Республике Беларусь практически повсеместно артезианская вода используемая для целей как питьевого, так и промышленного водоснабжения, имеет высокое содержание железа. В ряде случаев эта концентрация может превышать 20 мг/л. Удаление железа из исходной воды осуществляется, как правило, путем ее предварительной безнапорной аэрации и затем фильтрации. Как следствие, сточная вода после промывки фильтров содержит большое количество гидроксида железа (III), который имеет сходные с гидроксидом алюминия (III) свойства и, поэтому, может использоваться в тех же или сходных процессах, нацеленных на его утилизацию.

Проведенные исследования показывают, что на одну весовую часть железа приходится 1,92 части гидроксида железа. При теоретическом расходе 4,39 частей серной кислоты можно получить 5,26 части железного купороса. С учетом 97-98 процентной влажности выделенного осадка гидроксида железа и получающейся при реакции воды можно собрать 9,84 части 53-процентного раствора соли. В реальных условиях требуется большее количество кислоты — до 8 частей. При этом соответственно изменяется концентрация продукта реакции.

При пересчете на 1 тыс. куб. м воды на каждый выделенный из 1 л миллиграмм железа можно получить 10-20 кг 30-50% раствора железного купороса. Таким образом, может быть реализован системный подход к решению рассматриваемой проблемы в рамках

Давление грунтов на объекты на неустойчивом склоне

Турчек П.
(СТУ)

1. Введение

В связи с планируемой застройкой микрорайона в Братиславе на склоне, большая часть покровных слоев которого представлена лёссовыми грунтами мощностью до 10,5 м с просадочностью более 3%, возникла проблема определения давления грунта на временные и постоянные конструкции. Изучаемую территорию разделили на полосы с примерно одинаковыми геотехническими характеристиками, уклоном поверхности и толщинами покровных слоев. Такая районизация предназначалась для проектирования фундаментных конструкций, откосных выемок и врезок, ограждающих и подпорных стен.

На ответственных стесненных были предусмотрены подпорные стены, размеры которых потребовалось определить исходя из обеспечения их устойчивости при действующих нагрузках.

2. Теоретические предпосылки

Для подсчета нагрузок на подпорные стены использовался метод Брандла (1979), который оправдал себя на оползневых территориях. Его расчетная схема представлена на рис.1. Принимаются во внимание наклоны дневной поверхности и основания, по которому происходит сползание покровных слоев.

Действительная поверхность сдвига АВ преимущественно цилиндрического очертания заменяется плоским отсеком А'В, который загружен вышележащим слоем переменной мощности. В клине А'ВС можно выделить первичную сдвигаемую поверхность МС, наклоненную под углом ν к горизонту. Клин грунта МВС загружает опорную конструкцию максимальным давлением грунта. Его значение можно установить обычными приемами, используемыми в теории давления грунтов. В качестве поверхностной нагрузки выступает также вес тела МНВ. В самом общем случае результирующая сила давления грунта S будет равна

$$S = \gamma h^2 \operatorname{tg} \beta / 2 \operatorname{tg}^2 \nu \cos \delta [1 / (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{tg} \delta) + (1 + \operatorname{tg} \nu / \operatorname{tg} \varphi) : (\operatorname{tg} \delta + \operatorname{ctg}(\nu - \varphi))], \quad (1)$$