

Электрохимические методы обработки составляют одно из важнейших направлений технического прогресса в технологии современного машино- и приборостроения. Исследования и накопленный производственный опыт показали эффективность метода при решении многих технологических задач, в том числе и за пределами традиционной области обработки труднообрабатываемых материалов. Современные технологии на основе физико-химических методов очистки перспективны для изготовления новых деталей агрегатов для газотурбинных двигателей. В условиях непрерывной интенсификации производства все большее социальное и экономическое значение приобретают охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Поэтому одним из главных требований к современным технологиям является обеспечение экологической чистоты используемых процессов и выпускаемой продукции. Одним из производств, серьезно влияющих на загрязнение окружающей среды, в частности ионами тяжелых металлов, наиболее опасных для биосферы, является гальваническое производство [2]. Объем сточных вод очень велик из-за несовершенного способа промывки деталей, который требует большого расхода воды (до 2 м<sup>3</sup> и более на 1 м<sup>2</sup> поверхности деталей). На очистных сооружениях наиболее распространенным методом обезвреживания гальваносточков является реагентный метод, в частности, осаждение металлов гидроксидом кальция, не обеспечивающий доведение содержания ионов тяжелых металлов в стоках до современных ПДК [4]. Основным недостатком этого метода является большое количество шламов, содержащих токсичные соединения тяжелых металлов. Наиболее эффективными методами, позволяющими проводить глубокую очистку сточных вод от ионов тяжелых металлов являются физико-химические, а именно флотация. В основе процесса извлечения из воды гидрофобных частиц пузырьками газа, подаваемого в сточную воду, имеет место молекулярное слипание частиц шлама и пузырьков тонкодиспергированного в воде газа. Образование агрегатов «частица - пузырьки газа» зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия содержащихся в воде веществ, избыточного давления газа в сточной воде. Метод флотации - извлечения из жидкости диспергированных и коллоидных включений, основанный на способности частиц прилипать к газовым пузырькам, образуя флотокомплексы, и переходить вместе с ними в пенный слой. Сущность флотационного процесса заключается в специфическом действии молекулярных сил, вызывающих слипание частиц примесей с пузырьками газа, всплывание флотокомплексов и образованию на поверхности жидкости пенного слоя, содержащего извлеченные вещества. Слипание пузырьков воздуха происходит только с гидрофобными частицами несмачиваемыми водой или частицами, имеющими гидрофобные участки поверхности. Следовательно, для интенсификации флотационного процесса рекомендуется использовать

реагенты, которые, находясь в воде, сорбируются на поверхности частиц, понижая их смачиваемость, а значит, повышают гидрофобизацию загрязнений. Кроме того, следует отметить, что понижение поверхностного натяжения повышает эффект флотационной очистки воды[1]. В зависимости от способа образования пузырьков газа различают следующие виды флотации: напорную, пневматическую, механическую, электрофлотацию, пенную, химическую, вибрационную, биологическую и др. Вид содержащихся в воде загрязнений определяет характер флотационной обработки: одним воздухом или воздухом в сочетании с различными реагентами, прежде всего коагулянтами. Использование коагулянтов позволяет значительно повысить эффективность флотационной очистки и удалять загрязнения находящиеся в воде в виде стойких эмульсий и взвесей, а также в коллоидном состоянии. Важное значение имеют также условия и способы удаления пены. Пена образуется на поверхности воды в результате всплывания пузырьков воздуха, несущих на себе удаляемые из воды примеси. Она должна быть достаточно прочной и не допускать попадания загрязнений в воду. Кроме того, пена должна обладать определенной подвижностью при перемещении ее к сбросным устройствам. Устойчивость и подвижность пены зависит от свойств и количества реагентов и загрязнений, вносимых в пенный слой. Стабилизации пены способствует наличие в воде хлопьев коагулянта, мелких частиц взвеси и поверхностно-активных веществ. Как правило, удаление пены из флотатора производят либо кратковременным подъемом уровня воды с отводом ее через лотки, расположенные равномерно по площади камеры, либо с помощью скребковых механизмов перемещающих пену к сборным лоткам. Достоинствами флотации являются непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, по сравнению с отстаиванием большая скорость процесса, а так же возможность получения шлама более низкой влажности (90-95%), высокая степень очистки (95-98%), возможность рекуперации удаляемых веществ. Флотация сопровождается аэрацией сточных вод, снижением концентрации пав и легкоокисляемых веществ, бактерий и микроорганизмов. Все это способствует успешному проведению последующих стадий очистки сточных вод. Недостатком является то что, в зависимости от метода, могут использоваться флотаторы больших размеров, и от этого зависит и их экономичность. То есть могут затрачиваться большие затраты энергии. Современное флотационное обогащение основано на применении флотационных реагентов (флотореагентов). Флотореагенты - химические соединения, способствующие избирательному прилипанию пузырьков воздуха к минеральным частицам и осуществлению флотации определенных компонентов. В зависимости от целевого назначения флотореагенты делят на три класса - собиратели, пенообразователи, регуляторы. Результаты флотационного обогащения в значительной степени

определяются реагентным режимом флотации - ассортиментом и способом применения реагентов, один и тот же результат флотации может быть получен при различных реагентных режимах. По химическому составу флотореагенты бывают органическими (преимущественно собиратели и пенообразователи) и неорганическими (в основном модификаторы); те и другие могут быть неионогенными, мало или практически нерастворимыми в воде, и ионогенными, хорошо растворимыми в ней веществами. Для увеличения эффективности очистки отработанных рабочих жидкостей на предприятиях используется в качестве флотореагента ПАВ. Широкое применение флотации привело к появлению большого числа разновидностей процесса [3]. Для осуществления процесса флотации используют несколько способов диспергирования воздуха в воде: - компрессионный, когда воздух в воде предварительно растворяется под давлением - напорная флотация; - вакуумный метод - выделение мелкодисперсных пузырьков воздуха из воды в результате снижения давления - вакуумная флотация; - механический - воздух подбрасывается в воду при интенсивном перемешивании с последующим диспергированием лопастями мешалки - импеллерная флотация; подача воздуха через пористые материалы; - электрический способ - насыщение воды пузырьками газа, достигаемое электролизом воды - электрофлотация; - химический - пузырьки газа образуются в результате химических реакций с вводимыми в воду реагентами - химическая флотация. Вид содержащихся в воде загрязнений определяет характер флотационной обработки: одним воздухом или воздухом в сочетании с различными реагентами, прежде всего коагулянтами. Использование коагулянтов позволяет значительно повысить эффективность флотационной очистки и удалять загрязнения находящиеся в воде в виде стойких эмульсий и взвесей, а также в коллоидном состоянии. Одним из наиболее перспективных электрохимических методов очистки сточных вод является электролитическая флотация или электрофлотация. Очистка сточных вод электрофлотацией одновременно сопровождается такими процессами, как снижение концентрации загрязнений (растворенных и коллоидных), бактерий и микроорганизмов, цветности, а также значений химического потребления кислорода (ХПК) и биохимической потребности в кислороде (БПК), что способствует более глубокой очистке сточных вод, улучшает их общее санитарное состояние [2]. Метод электрофлотации имеет ряд преимуществ по сравнению с отстаиванием: - объем электрофлотаторов в 10-20 раз меньше, чем объем отстойников за счет уменьшения времени пребывания сточных вод с 1,5-2 ч при отстаивании до 10-15 мин при флотации; - получение пенных продуктов, содержащих флотошлымы с более низкой влажностью (90-95%), чем влажность осадка, образующегося в отстойниках (95-99,8%); - объем образующегося флотошлама в 15-20 раз меньше, чем объем осадка при отстаивании, потери воды в случае электрофлотации уменьшаются с 2-3 до 1%. Электрофлотация является

сложным физико-химическим процессом. Сущность метода заключается в образовании при пропускании постоянного электрического тока через сточную жидкость мелкодисперсных пузырьков газа, равномерно распределяемых в объеме обрабатываемой жидкости. Обладая большой подъемной силой, пузырьки газа, двигаясь вверх, сталкиваются с частицами загрязнений, прилипают к ним и затем флотируют их на поверхность раствора, образуя устойчивый пенный слой. Физико-химические процессы, имеющие место в электрофлотационных аппаратах, включают в себя электролитическую генерацию газовых пузырьков, всплытие пузырьков, столкновение пузырьков с частицами загрязнений, закрепление частиц на пузырьках, всплытие флотокомплексов частица-пузырек, образование трехфазной пены. Кроме образования пузырьков газа, при прохождении сточной воды через межэлектродное пространство происходят электролиз, поляризация частиц, электрофорез. Продукты электролиза взаимодействуют друг с другом и с другими компонентами, изменяется химический состав жидкости, свойства и состояние загрязняющих компонентов. Интенсивность указанных процессов зависит от: - химического состава жидкости; - материала электродов; - напряжения и плотности тока на электродах. При применении нерастворимых электродов основную роль в процессе электрофлотации играют электрофоретические явления, разряд заряженных частиц на электродах, образование в растворе веществ, разрушающих сольватные слои на поверхности частиц. Основными процессами при проведении электролиза воды в электрофлотационной установке являются следующие. В нейтральной и кислой средах на аноде происходит разряд молекул воды с выделением кислорода и образованием ионов гидроксония:  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ , на катоде протекает электрохимическая реакция восстановления иона гидроксония с выделением водорода и образованием молекул воды:  $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}^+$ . В щелочной среде на аноде в результате разряда гидроксил-ионов происходит образование молекул воды и выделение кислорода:  $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ , на катоде в результате разряда молекул воды выделяется водород и образуются гидроксил-ионы:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ . При электролизе растворов, содержащих хлорид-ионы, на аноде может протекать реакция выделения газообразного хлора:  $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ . Получающиеся анодные продукты являются сильными окислителями, широко используемыми для обеззараживания воды и очистки сточных вод от органических загрязнений. В некоторых случаях при электрофлотационной очистке сточных вод происходит катодное восстановление и анодное окисление растворенных органических и неорганических соединений, приводящее к образованию нетоксичных и малотоксичных продуктов. На эффективность электрофлотационного процесса существенное влияние оказывают: электрокинетический потенциал, pH, природа и концентрация фоновых электролитов и др. Это влияние проявляется через изменение природы, заряда и размера частиц дисперсной фазы (флотоконцентрата). Указанные факторы

взаимосвязаны и изменение одного из них, как правило, приводит к изменению остальных. В электрофлотационных установках для проведения процесса флотации используют газообразные продукты - водород и кислород, выделяющийся на электродах при электролизе обрабатываемой воды. На катоде происходит разряд молекул воды с образованием водорода: . На аноде процесс окисления сопровождается выделением кислорода: . Размер пузырьков газа определяется природой и формой электродов, а также условиями проведения электролиза. Принципиально электролиз позволяет получить заранее заданное распределение пузырьков газа по размерам. Электролитическое диспергирование газа обеспечивает также получение наиболее высокодисперсной газовой фазы, что позволяет использовать электрофлотаторы для очистки воды от устойчивых коллоидных загрязнений. Электрофлотационные установки разделяют по направлению движения воды и флотирующих в них газов на противоточные и прямоточные с горизонтальным или вертикальным расположением электродов. Электрофлотационные аппараты имеют одну или несколько камер. Многокамерный электрофлотатор состоит обычно из успокоителя, электродных камер и флотоотстойника. Электроды выполняют в виде пластин, однако чаще применяют их в виде проволочной сетки из меди или нержавеющей стали. Размер пузырьков газа, покидающих электроды, зависит от величины краевого угла смачивания и кривизны поверхности электродов, поэтому, изменяя диаметр проволоки, удается регулировать дисперсность газовой фазы. Оптимальное распределение по размерам газовых пузырьков, а так же газонаполнения достигается варьированием плотности тока на электродах.