



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.07

УДК 628.33

ФЛОТАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Г.И. Зубарева

Пермский государственный аграрно-технологический университет им. Д.Н. Прянишникова,
Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 16 июля 2019

Принята: 05 октября 2019

Опубликована: 10 января 2020

Ключевые слова:

промышленные сточные воды, очистка, флотация, виды флотации, универсальность флотации, технологические схемы очистки.

АННОТАЦИЯ

Обоснована необходимость проведения мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды промышленными выбросами, в частности сточными водами. Показано, что одним из перспективных методов очистки промышленных стоков является флотация. Обсуждены ее сущность, характеристики и виды флотации. Перечислены факторы, определяющие применение разных видов флотации для очистки промышленных сточных вод. Показано, что метод флотации может быть применен для концентрирования различных по своей природе загрязнений из промстоков: взвешенных веществ, нефтепродуктов, жиров, ионов тяжелых металлов, СПАВ. Установлено, что наиболее широкое распространение в практике очистки промышленных стоков получили напорная флотация, электрофлотация и ионная флотация. Рассмотрены их преимущества по сравнению с другими видами флотации. Обсуждены причины, сдерживающие широкое применение флотационных методов для очистки промышленных сточных вод. Приведены примеры эффективных технологических схем очистки сточных вод ряда отраслей промышленности (нефтеперерабатывающих предприятий, мясной промышленности, гидрометаллургической отрасли, гальванических производств), включающие стадию флотационной обработки сточных вод. Определены факторы, обуславливающие применение флотационной обработки сточных вод в технологических схемах на определенном этапе очистки промстоков. Сделан вывод об универсальности метода флотации, позволяющего эффективно удалять из промышленных сточных вод широкий спектр загрязнений. Данный метод успешно сочетается с известными методами очистки в технологических схемах в качестве предварительного, основного способа очистки или доочистки стоков до нормативных требований.

© ПНИПУ

© **Зубарева Галина Ивановна** – доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: zubarevag@inbox.ru.

Galina I. Zubareva – Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Collaborator, e-mail: zubarevag@inbox.ru.

FLOTATION IN TECHNOLOGICAL SCHEMES OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT

G.I. Zubareva

Perm State Agrarian-Technological University them. D.N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 16 July 2019
Accepted: 05 October 2019
Published: 10 January 2020

Keywords:

industrial wastewater, treatment, flotation, types of flotation, flotation universality, technological treatment schemes.

ABSTRACT

The necessity of measures to prevent environmental pollution by industrial emissions, in particular sewage, is substantiated. It has been shown that one of the most promising methods for cleaning industrial wastewater is flotation. Its essence, characteristics and types of flotation are discussed. The factors that determine the use of different types of flotation for the treatment of industrial wastewater are listed. It is shown that the flotation method can be used to concentrate various in nature pollutants from industrial wastes: suspended solids, petroleum products, fats, heavy metal ions, surfactants. It has been established that pressure flotation, electroflotation and ion flotation are most widely used in the practice of cleaning industrial wastewaters. Their advantages compared with other types of flotation are considered. The reasons constraining the widespread use of flotation methods for the treatment of industrial wastewater are discussed. Examples of effective technological schemes for wastewater treatment of a number of industries (oil refineries, meat industry, hydrometallurgical industry, electroplating industry), including the stage of flotation treatment of wastewater are given. The factors that determine the use of flotation treatment of wastewater in technological schemes at a certain stage of industrial effluent treatment are determined. The conclusion was made about the universality of the flotation method, which allows to effectively remove a wide range of contaminants from industrial wastewater, and also successfully combine with widely known purification methods in technological schemes as a preliminary, basic method of purification or additional treatment of effluent up to regulatory requirements.

© PNRPU

Введение

В настоящее время в связи с ростом темпов и масштабов промышленности актуальность мероприятий, предотвращающих загрязнение воды, почвы, воздуха и обеспечивающих оздоровление окружающей среды в целом, приобретает огромное значение. Усилия специалистов, занимающихся вопросами проектирования и строительства, в частности, канализационных очистных сооружений, направлены на разработку новых эффективных методов и технологических схем очистки промышленных сточных вод, интенсификацию работы действующих очистных сооружений при одновременном снижении стоимости обработки 1 м³ стоков до требований действующих «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Одним из перспективных методов очистки промышленных сточных вод является флотация [1, 2]. Для нее характерны: универсальность, высокая эффективность очистки стоков (практически 100 %), непрерывность процесса, широкая область применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простота оформления процесса, селективность выделения загрязнений, высокая скорость процесса, возможность получения флотационного шлама (осадка) низкой влажности (90–95 %) и возможность рекуперации сконцентрированных загрязнений.

Флотация основана на всплывании дисперсных частиц вместе с пузырьками воздуха. Процесс очистки состоит в образовании комплексов «частицы – пузырьки воздуха», всплывании этих комплексов на поверхность жидкости с образованием пенного слоя, содержащего загрязнение, и последующем удалении этого слоя с поверхности жидкости.

Достаточно долгое время флотация широко не использовалась для очистки стоков от нерастворимых загрязнений и ряда растворимых веществ, содержащихся в промышленных сточных водах. Однако в последние десятилетия все изменилось, и интерес к практическому применению метода в технологиях очистки стоков сильно возрос. Связано это, главным образом, с расширением ассортимента и количества синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), выпускаемых в России и использующихся в промышленности и в быту.

Очистка стоков методом флотации может производиться различными способами, т.е. именно образование пузырьков воздуха происходит с использованием различных методов. Различают следующие виды флотационной очистки промышленных сточных вод [3]:

1. Флотация с выделением воздуха из раствора (вакуумная, напорная и эрлифтная флотация). Метод применяют для очистки сточных вод, содержащих очень мелкие частицы загрязнений. Сущность метода заключается в создании пересыщенного раствора воздуха в сточной жидкости. При уменьшении давления из раствора выделяются пузырьки воздуха, которые флотируют загрязнения. В зависимости от способа создания пересыщенного раствора воздуха в воде различают вакуумную, напорную и эрлифтную флотацию.

2. Флотация с механическим диспергированием воздуха (импеллерные машины, безнапорные и пневматические флотационные установки). Образование пузырьков воздуха механическим путем происходит под воздействием вихревого движения, создаваемого при движении воздушной струи в водной среде.

3. Флотация с подачей воздуха через пористые материалы. Пропуская воздух через мелкие отверстия, можно получить микропузырьки, способные флотировать содержащиеся в жидкости загрязнения. Для реализации способа необходима относительно небольшая скорость подачи воздуха из отверстия, достаточное расстояние между отверстиями, наличие в жидкости реагентов-пенообразователей.

4. Электрофлотация. При электрофлотации сточные воды насыщаются воздухом за счет пузырьков, выделяемых постоянно с поверхности катода.

5. Биологическая и химическая флотация (находит применение в области уплотнения осадков сточных вод).

Основная часть

В настоящее время в практике очистки промышленных сточных вод уже разработаны различные технологические схемы, включающие флотацию [4]. Флотационный метод применяют для очистки стоков нефтеперерабатывающей [5], целлюлозно-бумажной промышленности, а также пищевой, машиностроительной, химической, кожевенной, текстильной, стекольной и других до нормативных требований. Флотация позволяет эффективно удалять из промышленных сточных вод различные загрязнения: взвешенные вещества, нефтепродукты, жир, ионы тяжелых металлов. Флотация используется для выделения активного ила после биохимической очистки, а также СПАВ. При этом выбор технологической схемы очистки промстоков, состав очистных сооружений определяется видом производства, мощностью предприятия, расходом образующихся сточных вод, местом сброса, количественным и качественным составом сточных вод, требованиями контролирующих органов к качеству очистки.

Из всех видов флотации напорная флотация получила достаточно широкое распространение в процессах очистки сточных вод, например, от нефтепродуктов, масел, жиров, СПАВ

и т.д. [6, 7]. Напорную флотацию проводят как с использованием реагентов для интенсификации процесса очистки, так и без добавления различных химических веществ. Широкое применение напорной флотации обусловлено достаточно высоким эффектом очистки сточных вод и простым аппаратным оформлением процесса. Напорная флотация позволяет очищать сточные воды с начальной концентрацией загрязнений 4–5 г/л и более.

В работе [8] обобщены сведения о технологических схемах глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод с применением метода напорной флотации с возвращением очищенных стоков в оборотную систему технического водоснабжения. Сточные воды содержат в своем составе нефтепродукты, взвешенные вещества, фенолы, железо (II), хром (III), азот аммонийный, ХПК и БПК. На приведенных технологических схемах показано, что напорная флотация может быть применена для подготовки сточных вод перед биологической очисткой (рис. 1), в качестве основного метода очистки (рис. 2), а также для доочистки (глубокой очистки) биологически очищенных сточных вод (рис. 3).

Применение напорной флотации в технологических схемах на определенном этапе очистки определяется, главным образом, количественной и качественной характеристикой сточных вод, подлежащих очистке, требованиями, предъявляемыми к очищенной воде, а также экономическими показателями (капитальными затратами, эксплуатационными расходами).

Переработка мяса представляет собой многоэтапный процесс, на каждой стадии которого образуются сточные воды от мытья оборудования, тары, мясного сырья. Объемы и степень загрязнения сточных вод мясокомбинатов значительно меняются в разные периоды времени, что связано со спецификой технологических процессов. Количественный и качественный составы образующихся стоков определяются видом сырья, применением различных моющих реагентов, ассортиментом производимой продукции. Учитывая это, предусматривают комплексный подход к очистке сточных вод.

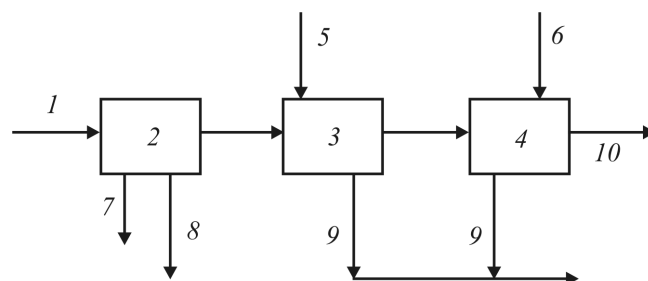


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема глубокой очистки сточных вод НХП:

1 – сточные воды на очистку; 2 – блок механо-физико-химической очистки (усреднитель, песколовки, нефтеловушки, установки напорной флотации); 3 – блок биологической очистки (аэротенки-вытеснители, вторичные отстойники); 4 – блок доочистки (барабанные сетки, скорые сорбционные фильтры, хлораторная установка); 5 – воздух; 6 – хлор; 7 – нефтяной шлам на обезвоживание и складирование; 8 – нефть и нефтепродукты на утилизацию; 9 – избыточный активный ил на обезвоживание и компостирование; 10 – очищенные воды в оборотную систему

Fig. 1. Schematic diagram of the deep treatment of wastewater NHP: 1 – wastewater for treatment; 2 – a block of mechano-physical and chemical cleaning (averager, sand traps, oil traps, pressure flotation units); 3 – biological treatment unit (aerotanks-displacers, secondary sedimentation tanks); 4 – post-treatment unit (drum nets, fast sorption filters, chlorination unit); 5 – air; 6 – chloro; 7 – oil sludge for dehydration and storage; 8 – oil and petroleum products for disposal; 9 – excess activated sludge for dehydration and composting; 10 – purified water into the circulating system

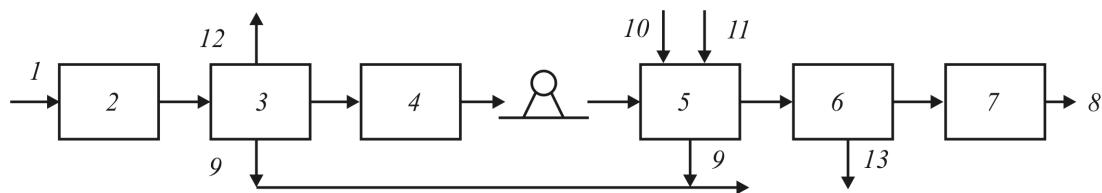


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод НХП:

1 – сточные воды на очистку; 2 – приемная камера; 3 – блок механической очистки (песколовки, нефтеловушки); 4 – резервуар перед флотаторами; 5 – установки по напорной флотации; 6 – скорые сорбционные фильтры; 7 – резервуар чистой воды; 8 – очищенные воды в оборотную систему технического водоснабжения; 9 – нефтепродукты на утилизацию; 10 – воздух; 11 – флокулянт; 12 – песок на отмывку от нефтепродуктов, обезвоживание и складирование; 13 – загрузка фильтров на регенерацию

Fig. 2. The basic technological scheme of wastewater treatment NHP: 1 – wastewater for treatment; 2 – receiving chamber; 3 – mechanical cleaning unit (sand trap, oil trap); 4 – tank in front of the flotators; 5 – installations for pressure flotation; 6 – speed sorption filters; 7 – tank of pure water; 8 – purified water into the circulating system of technical water supply; 9 – oil products for disposal; 10 – air; 11 – flocculant; 12 – sand for washing from oil products, dehydration and storage; 13 – loading filters for regeneration

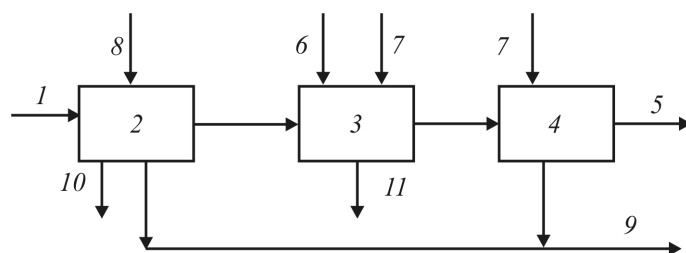


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема глубокой очистки сточных вод первой системы канализации НПЗ: 1 – сточные воды на очистку; 2 – блок механо-химической очистки; 3 – блок биологической очистки; 4 – установки по напорной флотации;

5 – очищенные воды в оборотную систему водоснабжения; 6 – биогенные добавки; 7 – воздух; 8 – флокулянт; 9 – нефтепродукты на утилизацию; 10 – осадок на обезвоживание; 11 – избыточный активный ил на обезвоживание и компостирование

Fig. 3. Schematic diagram of the deep sewage treatment of the first refinery sewage system:

1 – sewage for treatment; 2 – block of mechanochemical treatment; 3 – biological treatment unit; 4 – installations for pressure flotation; 5 – purified water into the circulating water supply system; 6 – biogenic additives; 7 – air; 8 – flocculant; 9 – petroleum products for disposal; 10 – sediment for dehydration; 11 – excess activated sludge for dehydration and composting

Сточные воды мясной промышленности в основном загрязнены взвешенными веществами, жиром, ХПК, БПК и имеют бактериальное загрязнение. Установлено, что наиболее эффективная очистка сточных вод мясокомбината может быть достигнута комбинацией различных методов очистки с напорной флотацией в технологической схеме [9].

На рис. 4 приведена принципиальная технологическая схема очистки стоков, в которой напорная флотация применяется в качестве основного метода очистки после предварительной стадии механической очистки (механические решетки, жируловитель). В случае необходимости глубокой очистки в качестве метода доочистки сточных вод до нормативных требований применяют биологические методы и обязательное обеззараживание очищенной воды.

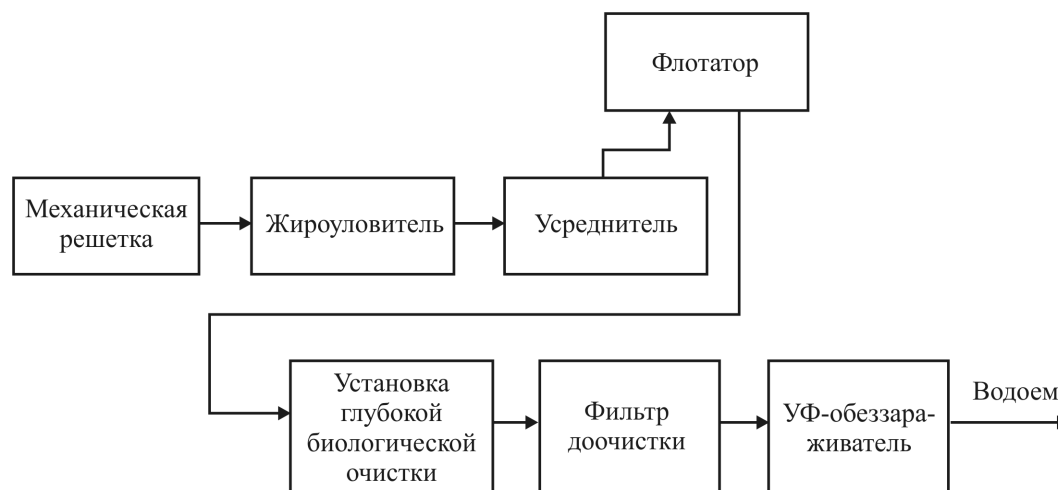


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема глубокой очистки сточных вод мясной промышленности с применением напорной флотации
Fig. 4. Schematic diagram of the deep wastewater treatment of the meat industry using pressure flotation

Возможности электрофлотации при очистке промышленных сточных вод достаточно хорошо известны [10, 11]. Метод имеет преимущества по сравнению с другими методами флотации сточных вод: простота изготовления и обслуживания аппаратов; возможность регулирования эффективности очистки изменением только одного параметра; высокая степень дисперсности газовых пузырьков; отсутствие вращающихся частей в рабочей зоне аппарата. Однако практическая реализация этого способа показала множество недостатков как аппаратного, так и технологического характера. Прежде всего, это относится к явлению пассивации электродов и необходимости предварительной очистки сточных вод от грубодисперсных загрязнений. В ряде случаев электрофлотация не всегда обеспечивает требуемую степень очистки без дополнительного применения коагулянтов или насыщения обрабатываемой жидкости газами в напорных электролитических сатураторах.

Электрофлотационная очистка наиболее эффективна при обработке отработанных жидкостей, а также сточных вод гальванических производств. На рис. 5 приведена технологическая схема глубокой очистки сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов (Cu_2^+ , Ni_2^+ , Cr_3^+ , Cd_2^+ , Pb_2^+ , Fe_2^+ , Fe_3^+ , Al_3^+ ; суммарная концентрация ионов металлов – 1–10 мг/л) до ПДК, основанная на электрофлотации с последующим сбросом очищенной воды в систему канализации или возвратом на повторное использование [12]. В данной схеме флотация является основным и единственным способом удаления ионов тяжелых металлов, но осуществляется с применением дополнительных реагентов, интенсифицирующих эффективность очистки.

Технология очистки промстоков может включать флотационную очистку как в качестве основного метода после предварительной очистки, так и в качестве доочистки сточных вод. Такие технологические схемы очистки разработаны для очистки производственных стоков предприятий пищевой промышленности от жира (исходная концентрация жира составляет 20–50 мг/л) (рис. 6). Схема включает механическое отстаивание стоков в отстойниках-жироуловителях в течение минимум 30 мин с эффективностью 40–60 %. Далее сточные воды подаются на напорные флотаторы и электрофлотокоагуляторы, обеспечивающие очистку стоков до показателей, удовлетворяющих требованиям Водоканала [13].

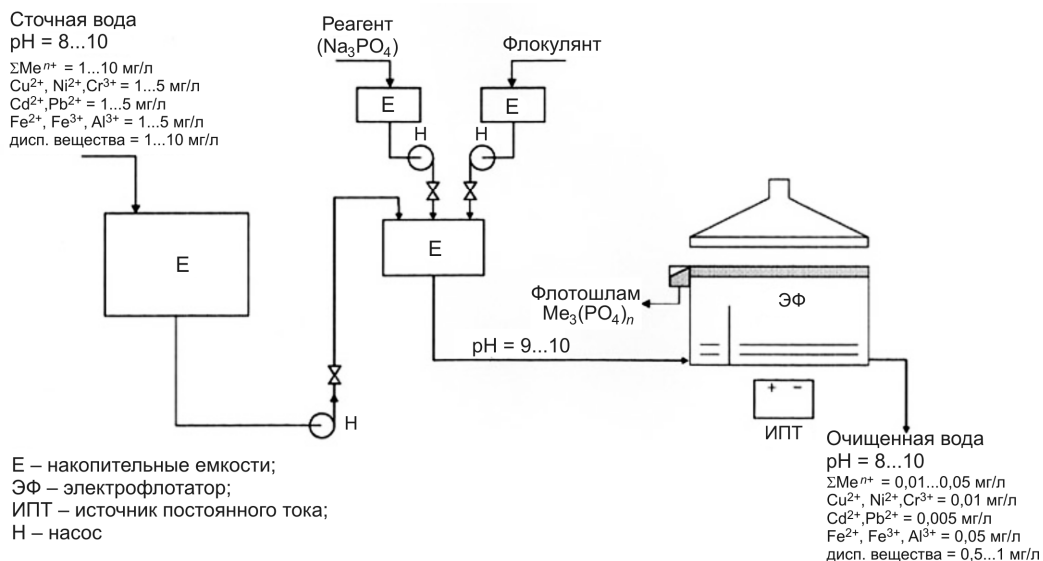


Рис. 5. Технологическая схема глубокой очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов до ПДК электрофлотационным методом
 Fig. 5. The technological scheme of deep wastewater treatment from heavy metal ions to MPC by electroflotation method

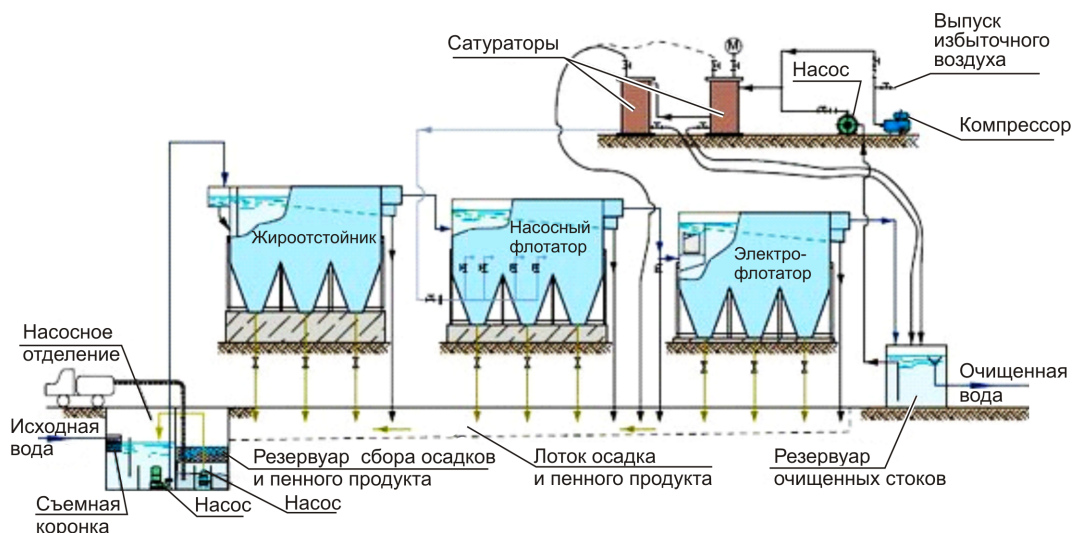


Рис. 6. Технологическая схема очистки жиросодержащих сточных вод пищевой промышленности
 Fig. 6. The technological scheme of the treatment of fat-containing wastewater of the food industry

Для очистки сточных вод от ионов металлов разработан еще один вид флотации – ионная флотация. Ионная флотация – метод разделения, в котором используются специфические свойства, характерные для поверхности раздела фаз «жидкость – газ», с целью концентрирования ионов или других заряженных частиц из водных растворов. Введенные в раствор поверхностно-активные вещества (ПАВ) (собиратели) вступают во взаимодействие с извлекаемыми ионами или молекулами, адсорбируются на поверхности пузырьков газа и образуют пену или пенку на поверхности раствора, обогащенную извлекаемым веществом.

В 1959 г. Ф. Себба (ЮАР) первым описал применение процесса ионной флотации для извлечения металлов из разбавленных растворов. В дальнейшем другие исследователи, в том числе наши соотечественники С.Ф. Кузькин и А.М. Гольман, распространили этот способ для обогащения полезных ископаемых.

Для ионной флотации характерны высокая производительность, эффективность при низких концентрациях металла в растворе (от долей миллиграмма до сотен миллиграммов в литре). При этом потери органических реагентов не превышают нескольких миллиграммов в литре при оптимальном реагентном режиме. Метод не требует больших материальных затрат на реализацию, а его использование довольно простое. Однако ионная флотация не имеет должной популярности в связи с отсутствием методики правильного подбора собирателя для эффективного концентрирования ионов металла. В настоящее время предпринимаются попытки улучшить сложившуюся ситуацию, однако стандартный механизм выбора флотореагентов-собирателей для каждого конкретного случая и условий ионной флотации пока еще отсутствует.

Метод ионной флотации представляется эффективным для очистки и глубокой доочистки сточных и оборотных вод [14], а также для извлечения ценных металлов в промышленном производстве и гидрометаллургии [15–17]. Ионная флотация может применяться как в качестве основного метода очистки промышленных сточных вод, так и в сочетании с другими методами. Применение ионной флотации после существующего на предприятии способа удаления загрязнений обеспечивает глубокую очистку производственных стоков, которые в ряде случаев могут быть повторно использованы в производстве. Извлечение теряемых с промышленными стоками металлов позволяет улучшить использование рудного сырья и снизить вредные выбросы в окружающую среду.

На рис. 7 показана принципиальная технологическая схема глубокой очистки сточных вод от крупных механических примесей, взвешенных веществ, песка и Cu(II) (с исходной концентрацией Cu(II) 5,38 мг/л на стадии ионной флотации) [18].

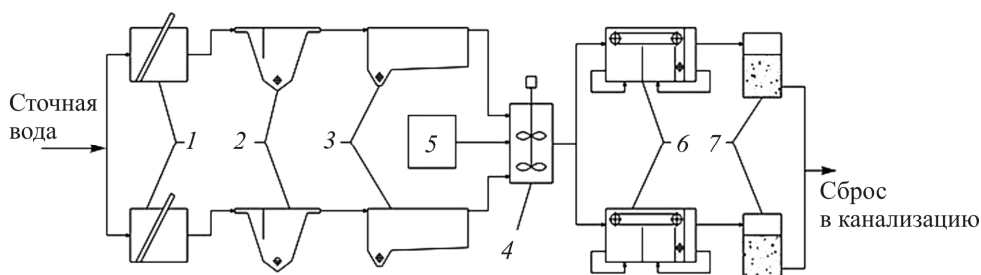


Рис. 7. Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод:

1 – решетки; 2 – песколовки; 3 – отстойники; 4 – реактор смешения;
5 – бак с реагентом; 6 – флотаторы; 7 – фильтры (клиноптилолит)

Fig. 7. The basic technological scheme of wastewater treatment: 1 – grates;
2 – sand traps; 3 – sedimentation tanks; 4 – mixing reactor; 5 – tank with reagent;
6 – flotators; 7 – filters (clinoptilolite)

В данной схеме ионная флотация (с применением собирателя ЭМКО) использована в качестве основного метода очистки после механического блока. С целью удаления остаточного количества взвешенных веществ и Cu(II) из сточной воды для возможности ее сброса в городскую канализацию применена фильтрация.

Заключение

Таким образом, в статье обобщены сведения о применении наиболее изученных и используемых видов флотации (напорная флотация, электрофлотация, ионная флотация) в технологических схемах очистки сточных вод ряда отраслей промышленности (нефтеперерабатывающих предприятий, мясной промышленности, гидрометаллургической отрасли, гальванических производств) до нормативных требований. Показано, что флотация является универсальным методом очистки по следующим причинам. Во-первых, флотационный метод позволяет эффективно удалять из промышленных стоков широкий спектр загрязнений вне зависимости от их химической формы нахождения в сточных водах. Во-вторых, флотация успешно комбинируется с широко известными методами очистки (механическими, физико-химическими, химическими, биологическими) в технологических схемах, являясь при этом методом предварительной, основной очистки или доочистки стоков до нормативных требований вне зависимости от вида флотации. Применение флотации после существующего на предприятии способа удаления загрязнений обеспечивает глубокую очистку производственных стоков; последние в ряде случаев могут быть повторно использованы в производстве. Все это свидетельствует в пользу того, что флотация может и должна найти более широкое применение в практике очистки промышленных сточных вод.

Библиографический список

1. Алексеев Е.В. Очистка сточных вод флотацией. Основы технологии и применение. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 160 с.
2. Ксенофонов Б.С. Флотационная очистка сточных вод. – М.: Новые технологии, 2003. – 160 с.
3. Алексеев Е.В. Основы технологии очистки сточных вод флотацией. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 137 с.
4. Ксенофонов Б.С. Проблемы очистки сточных вод промышленных предприятий // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». – 2011. – № 3. – С. 1–24.
5. Chen G. Electrochemical technologies in waste water treatment // Separation and Purification Technology. – 2004. – № 38. – Р. 11–41.
6. Применение напорной флотации для очистки стоков / Л.М. Кочетов, Б.С. Сажин, В.Б. Сажин [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. XXIV, № 3 (108). – С. 113–116.
7. Зубарева Г.И., Черникова М.Н. Глубокая очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ // Экология и промышленность России. – 2001. – № 111. – С. 47.
8. Зубарева Г.И., Черникова М.Н. Технологические схемы глубокой очистки нефте-содержащих сточных вод с применением метода напорной флотации // Экология и промышленность России. – 2011. – № 10. – С. 15–17.
9. Очистка стоков мясокомбинатов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.voda.ru/articles/ochistka-stokov-myasokombinatov/trebovaniya-los> (дата обращения: 26.02.2019).
10. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В.А. Колесников, Ю.И. Капустин [и др.]. – М.: Химия, 2007. – 304 с.
11. Филатова Е.Г. Обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2015. – № 2 (13). – С. 97–109.

12. Борисов И.А. Методы очистки сточных вод [Электронный ресурс]. – URL: <https://refdb.ru/look/2606380-pall.html> (дата обращения: 26.02.2019).
13. Очистка жиросодержащих стоков [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nwr-bio.ru/ochistka_zhirosoderzhashchih_stokov/ (дата обращения: 20.02.2019).
14. Шевелин И.Ю. Использование ионной флотации для очистки минерализованных промышленных вод // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – С. 406–412.
15. Медяник Н.Л. Теоретическое обоснование и разработка ресурсовоспроизводящих технологий комплексной переработки техногенных вод медно-цинковых горных предприятий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: Ин-т проблем комплексного освоения недр РАН, 2012. – 41 с.
16. Ксенофонтов Б.С. Интенсификация флотационного извлечения ионов металлов из сточных вод // Экология промышленного производства. – 2013. – № 1. – С. 25–28.
17. Черникова М.Н., Зубарева Г.И. Технологические схемы глубокой очистки сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов с применением флотации // Экология и промышленность России. – 2013. – № 5. – С. 26–27.
18. Флотационная очистка сточных вод [Электронный ресурс]. – URL: https://studref.com/319317/bzhd/flotatsionnaya_ochistka_stochnyh (дата обращения: 21.02.2019).

References

1. Alekseev E.V. Ochistka stochnyh vod flotatsionnoy. Osnovy tehnologii i primeneniye [Flotation wastewater treatment. Technology Basics and Application]. Moscow, ASV, 2015, 160 p.
2. Ksenofontov B.S. Flotatsionnaya ochistka stochnyh vod [Flotation wastewater treatment]. Moscow, Novye tehnologii, 2003, 160 p.
3. Alekseev E.V. Osnovy tehnologii ochistki stochnyh vod flotatsionnoy [Basics of flotation wastewater treatment technology]. Moscow, ASV, 2009, 137 p.
4. Ksenofontov B.S. Problemy ochistki stochnyh vod promyshlennykh predpriyatij [Problems of wastewater treatment of industrial enterprises]. *Prilozhenie k zhurnalu Besopasnost zhiznedeyatelnosti*. 2011, no. 3, pp. 1–24.
5. Chen G. Electrochemical technologies in waste water treatment. *Separation and Purification Technology*, 2004, no. 38, pp. 11–41.
6. Kochetov L.M., Kazhin V.B., Kazhin V.B. et al. Primeneniye napornoj flotatsionnoy dlya ochistki stokov [The use of pressure flotation for wastewater treatment]. *Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii*, vol. XXIV, 2010, no. 3 (108), pp. 113–116.
7. Zubareva G.I., Chernikova M.N. Glubokaya ochistka stochnyh vod ot poverhnostno-aktivnykh veshchestv [Deep wastewater treatment from surfactants]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2011, no 10, p. 47.
8. Zubareva G.I., Chernikova M.N. Tehnologicheskie shemy glubokoy ochistki neftesoderzhashchih stochnyh vod s primeneniem metoda napornoj flotatsionnoy [Technological schemes for deep purification of oily wastewater using pressure flotation method]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2011, no 10, pp. 15–17.
9. Ochistka stokov myasokombinatov [Meat processing plant effluents], available at: <http://www.vo-da.ru/articles/ochistka-stokov-myasokombinatov/trebovaniya-los> (accessed 26 February 2019).

10. Kolesnikov V.A., Kapustin JU.I. et al. Elektroflotacionnaya tehnologiya ochistki stochnykh vod promyshlennykh predpriyatij [Electroflotation technology for industrial wastewater treatment]. Moscow, Chemistry, 2007, 304 p.

11. Filatova E.G. Obzor tehnologij ochistki stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov, osnovannykh na fiziko-himicheskikh processah [Overview of wastewater treatment technologies from heavy metal ions based on physicochemical processes]. *Izvestiia vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*, 2015, no. 2 (13), pp. 97–109.

12. Borisov I.A. Metody ochistki stochnykh vod [Wastewater treatment methods], available at: (accessed at: <http://refdb.ru/look/2606380-pall.html> (accessed 26 February 2019)).

13. Ochistka zhirosoderzhashchih stokov [Grease-containing wastewater treatment], available at: http://www.nwr-bio.ru/ochistka_zhirosoderzhashchih_stokov/ (accessed 20 February 2019).

14. Shevelin IJU. Ispolzovanie ionnoj flotacii dlya ochistki mineralizovannykh promyshlennykh vod [The use of ion flotation for the treatment of mineralized industrial water]. *Gornyy informacionno-analiticheskij bjulleten*, 2015, pp. 406–412.

15. Medyanik N.L. Teoreticheskoe obosnovanie i razrabotka resursovosproizvodyashchih tehnologij kompleksnoj pererabotki tehnogennykh vod medno-cinkovykh gornyykh predpriyatij [Theoretical substantiation and development of resource-reproducing technologies for the integrated processing of technogenic waters of copper-zinc mining enterprises]. Abstract Ph.D. thesis. Moscow, RAN, Institute of the problems of integrated development of mineral resources, 2012, 41 p.

16. Ksenofontov B.S. Intencifikaciya flotacionnogo izvlecheniya ionov metallov iz stochnykh vod [Intensification of flotation extraction of metal ions from wastewater]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2013, no. 1, pp. 25–28.

17. Chernikova M.N., Zubareva G.I. Tehnologicheskie shemy glubokoj ochistki stochnykh vod galvanicheskogo proizvodstva ot ionov tyazhelykh metallov s primeneniem flitacii [Technological schemes of deep wastewater treatment of galvanic production from heavy metal ions using flotation]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2013, no 5, pp. 26–27.

18. Flotacionnaya ochistka stochnykh vod [Flotation wastewater treatment], available at: https://studref.com/319317/bzhd/flotatsionnaya_ochistka_stochnykh (accessed 21 February 2019).