

УДК 628.17

С.М. ЭПОЯН, доктор технических наук
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
С.И. МОВЧАН, кандидат технических наук
Таврический государственный агротехнологический университет,
г. Мелитополь,

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ФЛОТОШЛАМА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФЛОТОКАМЕРЕ

Наведені результати дослідження розробленої конструкції конусного ущільнювача флотошлему дозволяють підвищити інтенсивність роботи як окремих складових водоочисного обладнання, так і всієї системи оборотного водопостачання у цілому. У відповідності із запропонованим технічним рішенням накопичення і механічне відведення флотошлему відбувається у верхній частині вертикальної флотокамери.

Ключові слова: флотошлам, вертикальна флотокамера, камера реакції, камера флотації, діафрагма, вертикальні перегородки камери флотації, системи оборотного водопостачання.

Представленные результаты исследования разработанной конструкции конусного уплотнителя флотошлема позволяют повысить интенсивность работы, как отдельных составляющих водоочистного оборудования, так и систем оборотного водоснабжения в целом. В соответствии с предлагаемым техническим решением накопление и механическое отведение флотошлема происходит в верхней части вертикальной флотокамеры.

Ключевые слова: флотошлам, вертикальная флотокамера, камера реакции, камера флотации, диафрагма, вертикальные перегородки камеры флотации, системы оборотного водоснабжения.

The given results of the investigation where we developed the construction of cone-shaped sealant of the flotsam, allow to increase working power as separate components of the water purification equipment and all the system of the circulating water supply on the whole as well. According to the given technical solution, accumulation and mechanical off-pointing of the flotsam take place in the upper part of the vertical flotcamera.

Key words: flotsam, vertical flotcamera, the reaction camera, flotation camera, diaphragm, vertical partitions of the flotation camera, systems of the circulating water supply.

Введение. Очистка сточных вод в промышленном производстве, оценка качества её обработки и утилизация жидких отходов и последующее использование обработанной воды в оборотных циклах выходит на первый план в промышленном производстве [1, 118; 2, 14; 3, 618; 4, 17; 5, 333].

Загрязнения, входящие в состав сточных вод предприятий машиностроительного комплекса, обработки металлов резанием в химической отрасли и других производствах образуют значительные объёмы флотошлама. Данный вид отходов промышленного производства, кроме серьёзной экологической угрозы, представляет важную технологическую проблему для систем оборотного водоснабжения. Поэтому накопления флотошлама, их отведение и дальнейшая утилизация представляет одну из основных проблем водохозяйственного комплекса страны.

Одним из путей решения данной проблемы является комплексный подход в работе систем оборотного водоснабжения. Необходимо отметить, что на большинстве промышленных предприятий отсутствует комплексный подход, состоящий не только в обработке сточных вод, но и в утилизации образующихся при этом жидких отходов систем оборотного водоснабжения.

Постановка проблемы и её актуальность. Работа систем оборотного водоснабжения определяется эффективностью и надёжностью всех составных этих систем. Сточные воды большинства промышленных предприятий представляют собой многокомпонентные агрессивные системы. Обработка сточных вод, извлечение ценных компонентов, нейтрализация и обезвреживание загрязняющих компонентов определяет актуальность работы систем промышленного водоснабжения. Это обуславливает первостепенность использования водных ресурсов в системах оборотного водоснабжения для водохозяйственного комплекса страны [6, 286].

Повышение эффективности работы систем оборотного водоснабжения является существенным и действенным резервом обеспечения экологической безопасности водных объектов страны. Таким образом, решаются не только чисто технические задачи, но и технико-экономические.

Анализ работы существующих конструктивных решений. В работе систем обработки сточных вод, в которых образуются значительные объёмы флотошлама и взвешенных веществ, используются различные устройства и конструкторские решения.

Известно устройство флотационного уплотнителя ила, состоящее из цилиндрического корпуса, трубопроводов подачи активного ила и рабочей циркуляции жидкости, лотка для отведения воды с повышенным содержанием ила, выполненным в виде трубы, установленной в верхней части аппарата конфузором, шнеком, расположенным в середине трубы, и узла отведения уплотнённого мула скребковым механизмом. Недостатком флотационного уплотнителя является сложность изготовления и установления конфузора, невысокая эффективность удаления ила и неполнота отведения данных накоплений [7, 2].

Известная конструкция электрофлотокоагулятора, состоящая из ёмкости, в нижней части которой расположены анод и катод, входных, выходных патрубков и сборника пены. Недостаточная эффективность выделения флотошлама, накапливающегося в верхней части, ограничивает использование данной конструкции электрокоагулятора [8, 3].

Наиболее подробно рассмотрены методы уплотнения флотошлама в исследованиях [4, 107, 108], в которых рассмотрены известные технические решения с использованием вертикальных флотокамер с одним и двумя конусными устройствами. Предлагаемые способы уплотнения взвешенных веществ позволяют повысить интенсивность уплотнения флотошлама за счёт использования инжекторного устройства, комбинации горизонтальной перфорированной перегородки и вертикальных перегородок [9, 107].

Рассмотренные конструкции и методы уплотнения флотошлама создают условия для непрерывного отведения всплывших лёгких примесей в пенный слой с последующим уплотнением. Для уменьшения влияния конвективных потоков на процесс формирования флотошлама рекомендуется установка вертикальных перегородок или плоской перфорированной диафрагмы [9, 107].

Однако, предлагаемые технические решения, рассмотренные аналогичные способы и методы уплотнения флотошлама в аппаратах обработки сточных вод не в полной мере способствуют повышению эффективности удаления этого вида отходов, образующихся в системах оборотного водоснабжения.

Цель исследований. Целью исследований является повышение интенсивности отведения флотошлама в вертикальной флотокамере аппаратов обработки сточных вод промышленных предприятий.

Основная часть. Преобладающая часть разработанных конструкций уплотнения флотошлама предполагает его обработку и отведение в пассивной форме. Лёгкие примеси, взвешенные вещества и т.п., накапливаясь в верхней части различных конструкций флотошлам убираются различными механическими устройствами. Использование механических конструкций удаления всплывших примесей ограничивает производительность водоочистного оборудования. Кроме того, не в полной мере обеспечивает эффективность работы систем оборотного водоснабжения

Для повышения интенсивности отведения флотошлама разработана конструкция конусного уплотнителя. В верхней части, в которой предусмотрено механическое отведение лёгких примесей за счёт принудительного их отведения в верхней части флотокамеры (рис. 1). [10, 3].

В рассмотренных ранее технических решениях уплотнения флотошлама имеют место три зоны движения пузырьков газовой фазы и образования флотошлама независимо от изменения расхода жидкости (рис. 1):

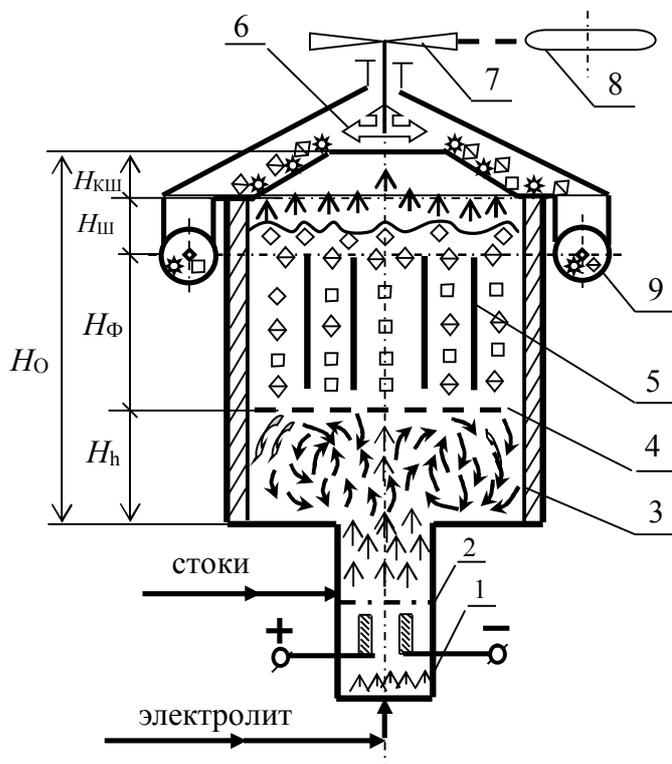


Рис. 1. Структура движения пузырьков газовой фазы в вертикальной флотокамере с конусным уплотнителем флотошлама в верхней части аппарата при электрохимической обработке стоков промышленного производства: 1 – камера электродная; 2 – камера реакции; 3 – камера флотации; 4 – диафрагма; 5 – вертикальная перегородка; 6 – мешалка; 7 – привод мешалки; 8 – электрический двигатель; 9 – труба лотковая

а) переходной участок с высотой H_h , в которой газожидкий поток начинает захватывать окружающую жидкость и увлекать её за собой;

б) флотационный участок с высотой $H_Ф$, на которой происходит отделение пузырьков газа и флотокомплексов, прилегающие слои жидкости вследствие вязкости получают достаточную скорость движения, образуются нисходящие микроскопические потоки;

с) участок формирования флотошлама $H_Ш$, где происходит всплытие флотокомплексов в неподвижной жидкости и образование слоя шлама [9, 107].

Визуальные наблюдения показали, что при электрогенерировании газовой фазы и коагулянта во флотокамере (рис.1) имеет место следующая

структура движения пузырьков газа в вертикальной флотокамере при электрохимической очистке стоков.

Установление в верхней части механизма принудительного отведения позволяет не только интенсифицировать процесс накопления и отведения данного вида отходов систем очистки, но и создать четвёртый участок H_k формирования флотошлама – конусное уплотнение флотошлама.

Проведенные исследования позволили создать и апробировать конструктивное решение, позволяющее интенсифицировать процесс отведения флотошлама в аппаратах вертикального типа.

Анализ условий реализации процессов в вертикальной флотокамере свидетельствует о том, что имеют место условия идеального перемешивания при импульсной подаче трассера [11, 48].

Движущей силой водоочистного оборудования является реакторная камера, которая входит в нижнюю часть флотокамеры и создаёт условия для сосредоточенного впуска газонасыщенной жидкости, что предопределяет диффузную модель, наиболее часто встречающуюся в практике очистки стоков.

Диффузная модель выходит из условий приближенной аналогии между перемешиванием и диффузией путем введения фиктивного коэффициента диффузии E , которая имеет также название «коэффициента продольного перемешивания». Единым параметром диффузной модели есть критерий Пекле:

$$P_e = \frac{\omega \cdot l}{E}, \quad (1)$$

а функция отклика имеет вид:

$$C = \sqrt{\frac{P_e}{4 \cdot \pi \cdot \theta}} \cdot e^{\frac{P_e \cdot (\theta - 1)^2}{4 \cdot \theta}}. \quad (2)$$

Выбор типа модели (ячейковая или диффузная) зависит от исследователя, поскольку они во многом равноценные.

Кривые отклики на импульсный ввод трассер (рис. 2) строились в безразмерных координатах согласно известным экспериментальным данным [11, 56] по формулам, учитывающим:

– безразмерное время

$$\Theta = \frac{\tau}{\tau}; \quad (3)$$

– безразмерную концентрацию

$$C(\Theta) = \frac{C \cdot \tau}{\sum C_i \cdot \Delta \tau}, \quad (4)$$

где τ – время измерения концентрации трассера, мин.; $\tau = \frac{\sum \tau_i \cdot C_i}{\sum C_i}$ –

среднее время пребывания во флотационной камере, мин.; $C = \frac{pH_0 - pH_t}{pH_0}$ –

концентрация трассера на выходе из флотокамеры; $\Delta\tau$ – интервал времени отбора проб [6, 64].

Критерий Пекле определяется по уравнению:

$$P_e = \frac{U \cdot L}{D_L} = \frac{2 \cdot \tau^2}{S_\tau \cdot \tau^2}. \quad (5)$$

Исследования показали, что в диапазоне изменения гидравлической нагрузки – $2 \dots 3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$, P_e изменятся незначительно и коэффициент D_L составляет $0,67 \dots 0,75$. Этот диапазон гидравлической нагрузки и критерии Пекле соответствует промежуточной модели между идеальным вытеснением и идеальным смешиванием.

На рис.2 представлены кривые распределения при импульсном вводе трассера с гидравлической нагрузкой $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$: 1 – 3,0; 2 – 2,0.

Приведенные на рис.2 графические зависимости наглядно показывают, что для определённых зависимостей, при различной гидравлической нагрузке, вторая их часть (после максимума) соответствует кривым отклика аппарата идеального смешивания при импульсной подаче трассера, которые рассмотрены в работе [11, 64].

В лабораторных условиях апробировано и на действующем оборудовании доведена эффективность удаления флотошлама для камер флотации с тремя и четырьмя зонами (рис. 3).

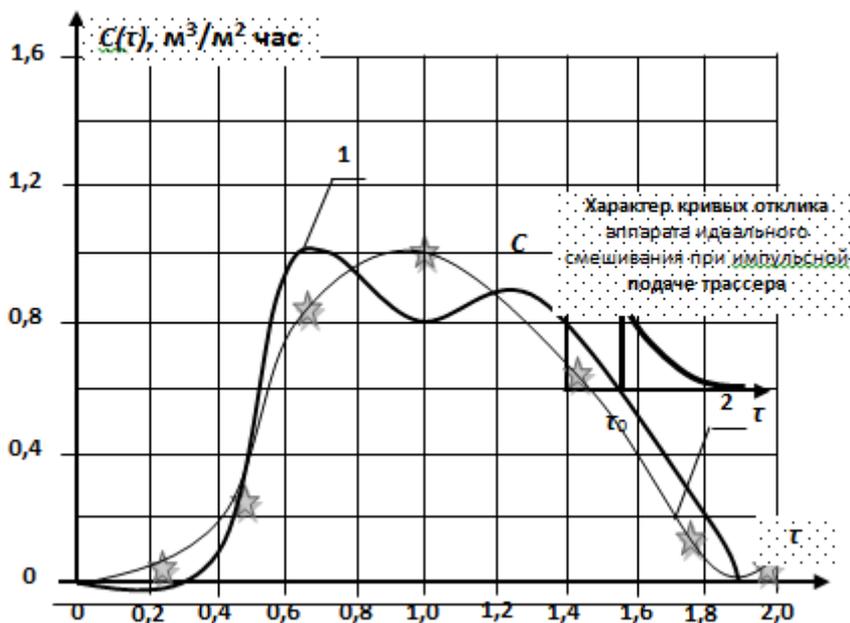


Рис. 2. Кривые распределения при импульсном вводе трассера с гидравлической нагрузкой $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$: 1 – 3,0; 2 – 2,0

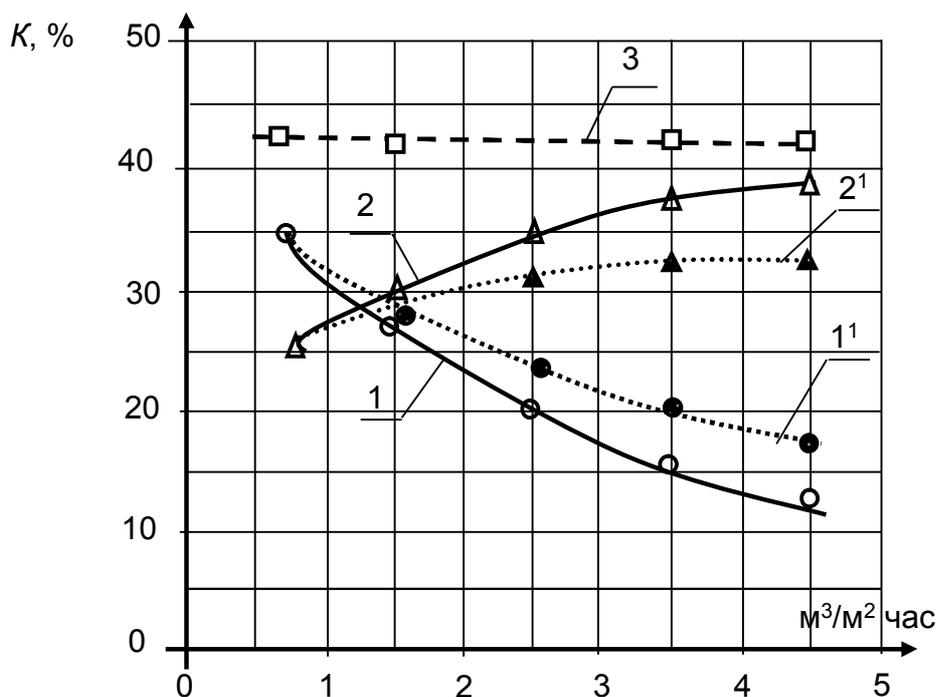


Рис. 3. Изменение относительного объема зон распределения и флотации при сосредоточенном впуске газожидкой фазы: коэффициенты 1 и 2 для камеры с тремя зонами; 1¹ и 2¹ – с четырьмя зонами.

Для камеры флотации с тремя зонами:

1 – коэффициент переходной зоны; **2** – коэффициент накопления флотошлама.

Для камеры флотации с четырьмя зонами:

1¹ – коэффициент переходной зоны; **2¹** – коэффициент накопления флотошлама.

Графические зависимости (рис. 3) показывают, что с увеличением гидравлической нагрузки для камер с четырьмя зонами сокращается время прохождения флотошлама от переходной зоны до зоны накопления и отведения его в верхней части аппарата. Это объясняется тем, что гидравлические сопротивления в верхней части значительно уменьшаются, объём накоплений отходов верхней части аппарата отводится, что способствует эффективности и надёжности работы водоочистного оборудования.

Технические параметры систем обработки сточных вод, наличие в них частиц загрязнений и показатели состава стоков на входе и выходе, после использования уплотнителя флотошлама с четырьмя зонами, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Технические параметры оборудования, характеристика сточных вод
(вход/выход) и эффективность работы систем очистки**

Тип оборудования	Наличие загрязнений в сточных водах	Характеристика сточных вод, мг/дм ³		Эффективность очистки, %
		на входе	на выходе	
Колонный реактор-флотатор, производительностью 1 м ³ /ч	Cr ³⁺	до 300	0,001	99,0...99,5
	Fe ³⁺	до 150	0,05	99,0...99,5
	нефтепродукты	85...90	0,05	98,0...99,0
Реактор обезвреживания отработанных растворов «Редоксцем», производительностью 2 м ³ /ч	Cr ⁶⁺	до 300	0,001	99,0...99,5
	Cu ²⁺	до 150		99,0...99,5
	Fe (общий)	до 150	0,05	99,0...99,5
	Zn ²⁺	до 100		98,0...99,0
Локальная схема электрохимической регенерации отработанных растворов, производительностью 2...4 м ³ /ч	нефтепродукты	85...90	0,05	99,0...99,5
	масла	85...90	4	
	ионы хрома Cr ⁶⁺	200...250	6	99,0...99,5

Таким образом, разработанное конструкторское решение, связанное с использованием механического сбора, уплотнением и отведением флотошлама в верхней части аппарата, позволяет повысить эффективность работы систем оборотного водоснабжения в части обработки, накопления и отведения флотошлама.

Выводы

1. Установлено, что использование механического (принудительного) отведения флотошлама в верхней части вертикальной флотокамеры повышает эффективность отведения взвешенных взвесей, накапливающихся в верхней части аппарата.

2. В результате лабораторных исследований установлено, что при одинаковых габаритных размерах камеры формирования флотошлама, использование конуса для накопления и отведения взвешенных веществ способствует выбору оптимальных коэффициентов переходной зоны и зоны накопления.

3. Использование конструкторских разработок данного типа способствует повышению интенсификации работы водоочистного оборудования, снижению расход электрического тока на обработку сточных вод и упорядочению ведению водного хозяйства отдельных производств.

Список літератури

1. *Айрапетян Т.С.* Водне господарство промислових підприємств: Навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2010. 280 с.
2. *Водоотводящие* системы промышленных предприятий: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1990. 511 с.
3. *Запольський А.К.* Водопостачання. водовідведення та якість води: Підручник. К.: Вища шк., 2005. 671 с.
4. *Інтенсифікація* технологічних процесів комплексного очищення стічних вод промислово-урбаністичних центрів: Монографія. Харків: ІКХХВ ім. А. В. Думанського НАН України, ТОВ «ТО Ексклюзив», 2013. 240 с.
5. *Таварткіладзе І.М.* Водовідвідні системи промислових підприємств. Процеси і апарати: Навчальний посібник. К.: КНУБА, 2002. 96 с.
6. *Епоян С.М.* Використання відходів гальванічного виробництва в якості добавок до будівельних матеріалів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: Наук.-техн. зб. К.: КНУБА, 2014. Вип. 24. С. 285-293.
7. А. с. № 823300 СССР, МКИ³ С02 F1/24. Флотационный илоуплотнитель. А.И. Терещук, П.И. Ушомирский, В.Н. Анопольский, Е.В. Двинских. Украинский институт инженеров водного хозяйства. Заявка № 2717151 / 29-26; заявл. 26.01.79; опубл. 23.04.81. Бюл. № 15.
8. А. с. № 667243 СССР, МКИ³ С02 С5/12. Электрофлотатор Г.С. Кучеренко, А.И. Давыденко, Н.И. Матвиенко. Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт городского хозяйства. Заявка № 2415334 / 22-26; заявл. 29.10.76; опубл. 30.05.79. Бюл. № 22.
9. *Бунин Н.И.* Очистка сточных вод ремонтно-механических заводов ГОСАГРОПРОМА: Дис. канд. техн. наук: 05.23.04 – водоснабжение, канализация. М., 1988. 172 с.
10. *Позитивне рішення* від 21.09.2016 р., МПК⁷ (2006.01) С02 F1/46. Ущільнювач флотошлему № 10153/ЗУ/16 / С.І. Мовчан. Заявка № u 2016 05339; заявл. 17.05.2016.
11. *Артамонов В.В.* Процеси і апарати технології водоочистки: Навч. Посібник. Рівне: РДТУ, 1999. 127 с.

Надійшло до редакції 9.11.2016