

Развитие флотационной техники для очистки сточных вод и сгущения активного ила

Б.С. Ксенофонтов, профессор, д-р техн. наук

А.С. Козодаев, доцент, канд. техн. наук

Р.А. Таранов, старший преподаватель

М.В. Иванов, доцент, канд. техн. наук

Е.В. Сеник, аспирант

М.С. Виноградов, инженер

А.А. Воропаева, инженер

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

e-mail: borisflot@mail.ru

Ключевые слова:

флотационная очистка сточных вод, сгущение активного ила, флотационные аппараты, флотокомбайны.

В статье рассмотрены теоретические основы флотационного процесса, а также основные этапы развития флотационных аппаратов. Особое внимание уделено рассмотрению флотации как многостадийного процесса, а также определению констант теоретическим и экспериментальным методами. Представлены разработки ведущих зарубежных и отечественных компаний в области флотационной очистки сточных вод и сгущения активного ила. Описаны перспективные разработки, касающиеся создания комбинированных флотационных аппаратов – флотокомбайнов. Приведены различные варианты конструкции комбинированных флотационных аппаратов и примеры их внедрения на производстве, а также результаты испытаний, подтверждающие высокую эффективность очистки сточных вод и флотационного сгущения активного ила. Для осадков сточных вод, в том числе активного ила, рассмотрены способ интенсификации сгущения с использованием углекислого газа, а также реагентные способы.

1. Введение

Флотационная техника используется для очистки сточных вод от гидрофобных загрязнений и сгущения осадков, в частности активного ила [1]. В результате очистки сточных вод образуются различные категории осадков, в том числе активный ил, влажность которого составляет 98%. Для утилизации осадков необходима их обработка, первой стадией которой является уплотнение для уменьшения объема осадков. Существует несколько методов сгущения осадков, один из которых — флотация [1].

За последние 60 лет флотационные машины претерпели значительные конструктивные изменения, которые обеспечивают соответствие новых установок различным аспектам производственного процес-

са, а также наиболее важным требованиям. До 1930-х годов были запатентованы сотни моделей флотационных машин, десятки из них были применены на практике; к 1960-м годам все эти разработки устарели, за исключением субаэрационных, пневмомеханических и пневматических типов. В настоящее время даже эти модели уже не применяются в их первоначальном виде.

В результате стремления к упрощению конструкций прежние модели выводились из эксплуатации. При этом новые разработки не обязательно соответствуют всем требованиям. Они позволяют упростить процесс сборки, снизить затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, предоставить более широкие возможности использования, а также снизить требования

по техническому обслуживанию по сравнению с требованиями к первым, более сложным моделям.

2. Теоретические основы флотационного процесса

Известно достаточно много моделей флотационного процесса [1]. Особо следует отметить модель профессора Белоглазова. Согласно этой модели процесс флотации рассматривается по аналогии с простой химической реакцией первого порядка (рис. 1).



Рис. 1. Схема процесса флотации по Белоглазову

Уравнение процесса флотации по Белоглазову имеет вид

$$C = C_0 e^{-k\tau}, \quad (1)$$

где: C и C_0 — концентрации загрязнений в текущий и начальный моменты, соответственно; k — константа (скорость) флотационного процесса; τ — время.

$$k = \frac{1,5qE}{k_0 D}, \quad (2)$$

где: q — скорость барботирования; E — эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа при флотации; k_0 — фактор полидисперсности пузырьков; D — средний диаметр пузырьков во флотационной ячейке.

Такой подход имеет существенные недостатки:

- флотокомплекс не рассматривается в качестве объекта исследования;
- отсутствует зависимость образования пенного продукта от времени;
- не перечислены все факторы кинетики процесса.

Устранение этих недостатков и наиболее полное описание процесса флотации было предложено Ксенофонтовым Б.С. в середине 1980-х годов. Согласно этому подходу процесс флотации рассматривается по аналогии со сложной химической реакцией первого порядка. Простейший случай флотационного процесса согласно модели Ксенофонтова представлен на рис. 2, а более общий случай — на рис. 3.

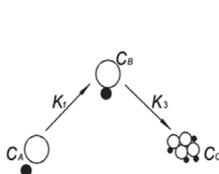


Рис. 2. Простейший случай флотационного процесса согласно модели Ксенофонтова

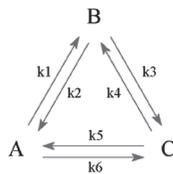


Рис. 3. Общий случай флотационного процесса согласно модели Ксенофонтова

Для простейшего случая система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A, \\ \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_3 C_B, \\ \frac{dC_C}{dt} = k_3 C_B. \end{cases} \quad (3)$$

Для общего случая система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A + k_2 C_B + k_3 C_C - k_6 C_A, \\ \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B - k_3 C_B + k_4 C_C, \\ \frac{dC_C}{dt} = k_6 C_A - k_3 C_C + k_3 C_B - k_4 C_C \end{cases} \quad (4)$$

$$k_1 = \frac{1,5qE}{k_0 D}, \quad (5)$$

где: q — скорость барботирования; E — эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа при флотации; k_0 — фактор полидисперсности пузырьков; D — средний диаметр пузырьков во флотационной ячейке.

$$k_2 = AC_\phi G_a M^2 C_{\text{пн}}^{-1}, \quad (6)$$

где: A — безразмерный коэффициент; C_ϕ — концентрация флотокомплексов частица-пузырек; G_a — градиент скорости в зоне аэрации, определяемый отношением разности скоростей к разности расстояния между рассматриваемыми точками; M — отношение диаметра частицы к диаметру пузырька; $C_{\text{пн}}$ — концентрация пузырьков в подпенном слое.

$$k_3 = \frac{v_{\text{под}}}{h}, \quad (7)$$

где: $v_{\text{под}}$ — скорость подъема флотокомплекса; h — расстояние от зоны аэрации до пенного слоя.

$$k_4 = FG_{\text{п}} C_{\text{п}} d_{\text{cp}}^3, \quad (8)$$

где: F — коэффициент пропорциональности; $G_{\text{п}}$ — градиент скорости в подпенном слое; $C_{\text{п}}$ — концентрация пузырьков в пене; d_{cp} — средний диаметр пузырьков в пене.

$$k_5 = \frac{v_{\text{ос}}}{h}, \quad (9)$$

где: $v_{\text{ос}}$ — скорость осаждения частиц твердой фазы, выпадающих из пенного слоя; h — расстояние от зоны аэрации до пенного слоя.

$$k_6 = \psi \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{1}{2\sqrt{\pi\psi t}} \left[\exp\left(-\frac{(x-h)^2}{4\psi t}\right) - \exp\left(-\frac{(x+h)^2}{4\psi t}\right) \right] \right\}, \quad (10)$$

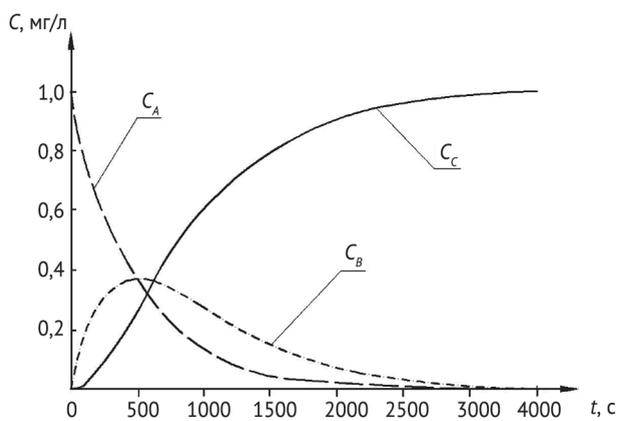
где: t — время; x — текущее расстояние от границы пенного слоя; ψ — коэффициент диффузии частиц твердой фазы в жидкость; h — расстояние от зоны аэрации до пенного слоя.

Решение системы уравнений (4) представлено на рис. 4.

Интенсификация флотационного процесса согласно многостадийной модели может быть достигнута рядом способов, в том числе путем коалесценции флотокомплексов с образованием пузырька более крупного размера, чем исходный (рис. 5).

Система уравнений для этого случая имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A + k_2 C_B + k_5 C_C - k_6 C_A \\ \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B - k_3 C_B + k_4 C_C - k_7 C_B + k_8 C_D \\ \frac{dC_C}{dt} = -k_5 C_C + k_6 C_A + k_3 C_B - k_4 C_C + k_9 C_D - k_{10} C_C \\ \frac{dC_D}{dt} = k_7 C_B - k_8 C_D - k_9 C_D + k_{10} C_C \end{cases} \quad (11)$$



Зависимость концентрации загрязнений: C_A — в осветляемой жидкости; C_B — в виде флотокомплексов; C_C — в пенном продукте

Рис. 4. Графическое решение системы уравнений флотационного процесса согласно модели Ксенофонта

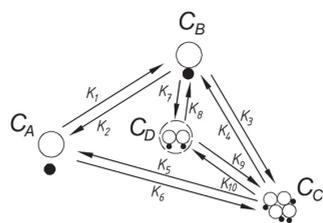
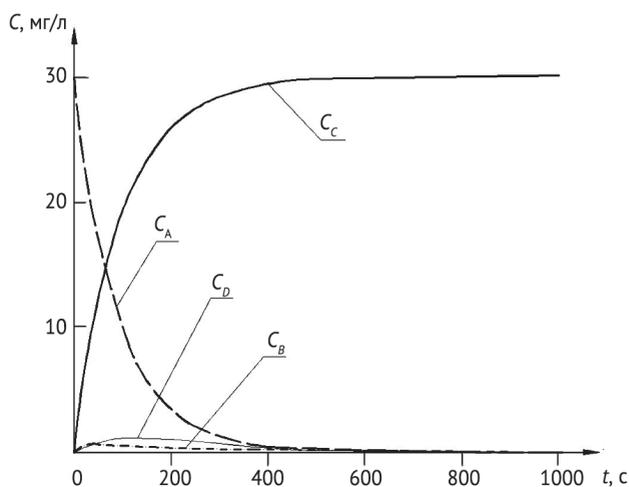


Рис. 5. Схема флотации с учетом коалесценции частиц загрязнений

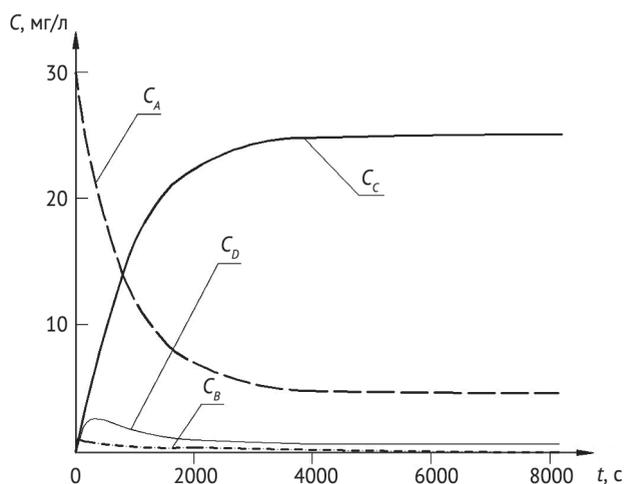
Решение этой системы уравнений в графическом виде представлено на рис. 6 и 7.

Другие варианты интенсификации флотационного процесса с использованием многостадийной модели описывают флотационный процесс, осуществляемый в конкретных условиях, и приведены в [2–4]. Использование многостадийной модели флотации позволяет научно обоснованно подойти к разработке новых видов флотационной техники.



Зависимость концентрации загрязнений: C_A — в осветляемой жидкости; C_B — в виде флотокомплексов; C_C — в пенном продукте; C_D — в состоянии микрофлотокомплекса

Рис. 6. Зависимость изменения концентрации гидрофобных частиц от времени флотации с учетом коалесценции



Зависимость концентрации загрязнений: C_A — в осветляемой жидкости; C_B — в виде флотокомплексов; C_C — в пенном продукте; C_D — в состоянии микрофлотокомплекса

Рис. 7. Зависимость изменения концентрации взвешенных веществ от времени флотации с учетом коалесценции

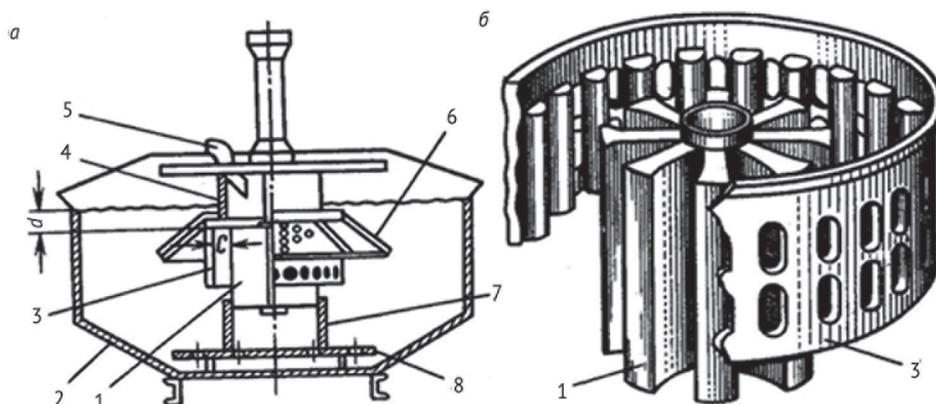


Рис. 8. Флотационная машина «Wemco 1+1»

a – Поперечный разрез; *б* – ротор и статор конструкции «1+1»; 1 – ротор; 2 – камера; 3 – статор; 4 – центральная труба; 5 – труба для засасывания воздуха; 6 – конический перфорированный колпак; 7 – циркуляционная труба; 8 – перфорированное ложное днище; *C* – зазор между ротором и статором; *d* – глубина погружения ротора

3. Тенденции развития флотационной техники и очистки сточных вод

Одним из главных направлений развития флотационной техники может стать создание более крупных, металлоемких и рентабельных машин. В последнее время произошел переход от принципов упрощения конструкций и механизмов к принципам, которые позволяют разделять и направлять потоки жидкости, обеспечивать внешний приток воздуха к большим установкам и таким образом использовать монокамеры большого объема.

Среди механических машин за рубежом наибольшее распространение получили машины Wemco (ранее известные под торговой маркой Фагергрэн). Фирма «Wemco» традиционно выпускает многокамерные машины 12 типоразмеров с камерами вместимостью до 85 м³ и монокамерные вместимостью 127 м³ прямоугольного сечения. Все камеры соответствуют условиям геометрического подобия, а также многим собственным технологическим критериям масштабного перехода [5].

Флотационная машина Wemco (США) состоит из квадратных или прямоугольных камер, имеющих в нижней части по ширине трапециевидальное сечение (рис. 8). Разработанный фирмой аэратор, состоящий из цельнолитых ротора и статора, получил название «1 + 1» (рис. 8, б).

Звездообразный ротор имеет 6–10 радиальных лопаток, заканчивающихся трапециевидальным утолщением. Статор выполнен в виде цилиндра с овальными отверстиями, между которыми с внутренней стороны расположены полуцилиндрические ребра. Ротор и статор целиком изготовлены из резины. Между ротором и статором имеется большой зазор *C*, который для машин № 120 (вместимость камеры 8,49 м³) составляет 180 мм.

При вращении ротора из атмосферы через центральную трубу засасывается воздух, а снизу — пульпа. Воздух и пульпа смешиваются в полости ротора, пульпо-воздушная смесь выбрасывается через отверстия статора в камеру в радиальном (а не тангенциальном) направлении, так как благодаря большому зазору турбулентные потоки в значительной степени гасятся в пространстве между ротором и статором. Радиальный выброс аэрированной пульпы способствует более равномерному распределению воздушных пузырьков по объему камеры (рис. 9) [6].

Для создания на поверхности пульпы спокойной зоны пенообразования на центральной трубе установлен конический перфорированный колпак.

В камерах вместимостью 2,83 м³ и более для усиления циркуляции пульпы установлено ложное днище, не достигающее до стенок камеры, с циркуляционной трубой. Пульпа, выброшенная ротором к стенкам камеры, проходит между настоящим и ложным днищем и через циркуляционную трубу засасывается ротором вверх. Такая циркуляция препятствует осаждению материала на дне камеры, что

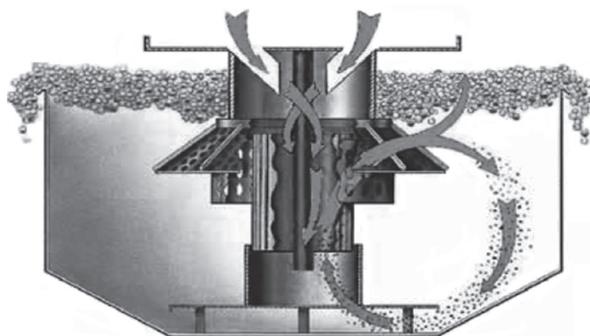


Рис. 9. Принцип работы флотомашин «Wemco 1+1» [6]

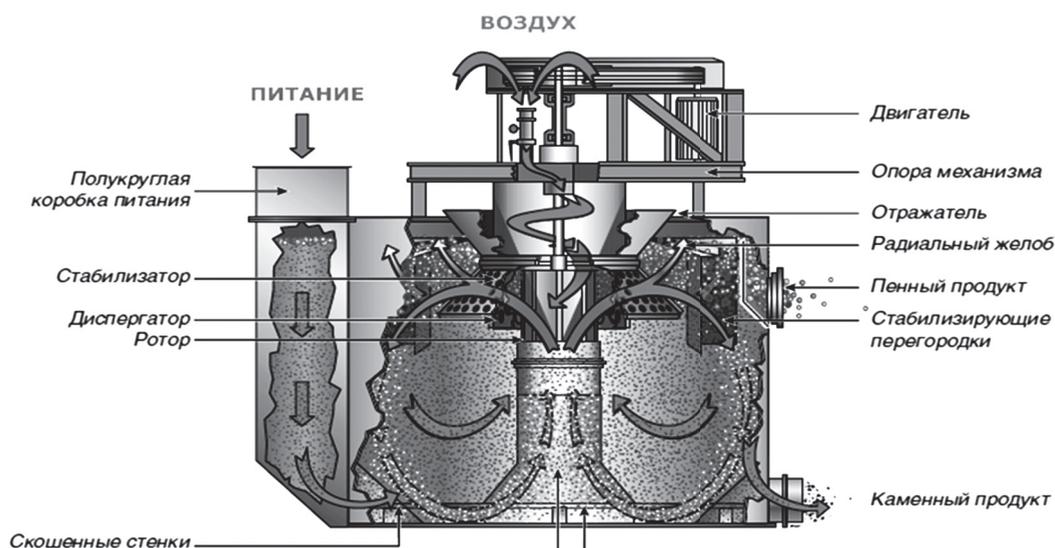


Рис. 10. Флотомашина Wemco SmartCell [6]

позволяет увеличить глубину камеры с 686 (№ 66) до 2667 мм (№ 190). При этом расстояние от поверхности пульпы до верхней кромки ротора в камерах большей глубины, по сравнению с мелкими камерами, изменяется незначительно [6].

Съем пены в машинах Wemco обычно двусторонний и осуществляется самотеком, однако при необходимости для удаления пены используется пеногон. Машина состоит из отдельных прямоточных звеньев, устанавливаемых каскадно [6]. Технические характеристики машин Wemco приведены в табл. 1.

В последние годы фирма «Wemco» разработала конструкцию машины, в которой вместо воздуха используется азот. Машина получила название «Инертный газ». Необходимость разработки была вызвана применением на ряде фабрик азота вместо воздуха

при разделении медно-молибденового концентрата с целью снизить расход подавителя сульфидов меди — гидросульфида натрия [6]. Флотомашин Wemco преимущественно механические, т.е. самостоятельно всасывают и диспергируют атмосферный воздух. Эти машины имеют особенность: потребляют воздух в соответствии с изменяющимися условиями питания флотации.

Приверженность механическому способу аэрирования фирма сохранила и при создании в 2002 г. новой серии флотационных машин цилиндрического типа Wemco SmartCell с камерами вместимостью от 0.05 до 257 м³, которые имеют механический аэрационный механизм (рис. 10) [6].

К особенностям этой флотомашин можно отнести двойное дно с гибридной всасывающей трубой, скошенные стенки камеры, отражатель, стабилизирующие перегородки и радиальные желоба, что в совокупности создает направленные потоки без лишней турбулентности в «зону интенсивной флотации» и увеличивает стабильность пены [6]. Флотомашин Wemco имеют недостаток: они не могут извлекать микрофлотокомплексы из очищаемой жидкости, что приводит к повышенному уносу загрязнений с жидкостью.

Широкое распространение в мировой практике получили пневмомеханические флотомашин компании «Outokumpu Technology» (Outotec). Фирма производит ряд флотационных машин: ОК-У (У-образная камера) вместимостью 8, 16, 38, 50 м³; ОК-Р (камера прямоугольной формы) вместимостью 0.05; 1.5; 3 и 5 м³. Кроме того, фирма создает большеобъемные импеллерные машин чанового типа Tank Cell(ТC): машин ТC с камерами вместимостью 5, 10,

Таблица 1
Технические характеристики флотационных машин Wemco

№ машины	Размеры камеры, мм	Вместимость камеры, м ³	Диаметр ротора, мм	Окружная скорость ротора, м/с	Установочная мощность электродвигателя на одну камеру, кВт
18	305×457×254	0,03	89	4,6	0,4
28	457×711×305	0,09	140	5,1	0,7–1,1
36	914×914×406	0,31	178	5,3	2,2
44	1118×1118×508	0,59	216	5,6	3,7
56	1422×1422×610	1,13	279	6,2	5,5
66	1676×1676×686	1,7	324	6,4	7,4
66Д	1524×1676×1194	2,83	406	5,7	11,0
84	1600×2134×1346	4,25	406	6,6	11,0
120	2286×3048×1346	8,49	559	6,4	18,4–22,1
144	2743×3658×1600	14,16	660	6,6	22,1–29,4
164	3023×4166×2362	28,32	762	7,4	44,2–55,2
190	3556×4826×2667	42,48	889	7,7	73,6–92,0

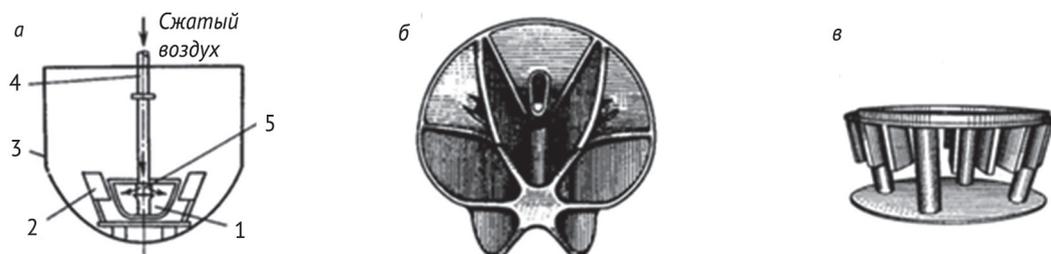


Рис. 11. Флотационная машина «Дорр-Оливер»
а – Поперечный разрез: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – камера; 4 – полый вал; 5 – камера для воздуха в роторе; б – ротор; в – статор

20, 30, 50, 70, 100 и 130 м³ и машины ТС-XHD с камерами вместимостью 100, 160, 200 и 300 м³.

Исследования фирмы направлены на разработку оптимальных вариантов конструкции аэрационного узла с целью извлечения частиц различной крупности. Рабочие характеристики машины выбирают, исходя из требований к пенному продукту. При этом в камере создается глубокий пенный слой, как в колонных машинах, чтобы наряду с извлечением обеспечить высокое качество концентрата. Специалисты фирмы предлагают для достижения технологического эффекта флотировать частицы оптимальной крупности и мелкие частицы с помощью механизма MultiMix при обычной или повышенной рабочей скорости импеллера, а флотацию крупных частиц проводить с использованием механизма Free Flow при несколько меньшей рабочей скорости. Расход энергии на перемешивание в этом случае снижается с 0,7 до 0,55 кВт/м³ [5].

К недостаткам флотационных машин компании «Outokumpu Technology» (Outotec) следует отнести несовершенную систему аэрации: аэратор располагается на большом расстоянии от днища камеры. В результате размер пузырьков в этих флотомашинах, как правило, больше, чем во флотомашинах фирмы «Wemco».

Заслуживают внимания разработки фирмы «Дорр-Оливер» (США). Флотационная машина «Дорр-Оливер», выпускаемая этой фирмой, состоит из квадратных или прямоугольных камер, имеющих в основном V-образное вертикальное поперечное сечение. В камере установлен аэратор, включающий ротор и круговой радиальный статор. Ротор состоит из диска и шести лопастей, которые крепятся к диску снизу. Лопасти имеют профиль, аналогичный профилю лопастей ротора машины «ОК». Две соседние лопасти образуют полость V-образной формы. В центре ротора имеется камера, которая каналами соединяется со всеми полостями (рис. 11) [7].

Воздух из полого вала попадает в камеру и далее по каналам выходит на поверхность ротора. Статор состоит из двух дисков, соединенных между собой стойками, и радиальных лопаток, крепящихся к верхнему диску. Лопатки перекрывают ротор до половины его высоты. Отсутствие лопаток в нижней части статора, по мнению фирмы, улучшает перемешивание пульпы благодаря усилению донной циркуляции и снижает расход энергии. Зазор между лопатками статора и ротором составляет 16% радиуса ротора. С помощью нижнего диска статор крепится ко дну камеры.

Таблица 2

Технические характеристики
флотационных машин «Дорр-Оливер»

№ машины	Размеры камеры, мм	Вместимость камеры, м ³	Диаметр импеллера, м ²	Окружная скорость импеллера, м/с	Расход подаваемого воздуха на камеру, м ³ /мин	Установочная мощность электродвигателя на камеру, кВт
DO-100	1524×1524×1220	3	500	4,5	4,2	7,5
DO-300	2286×2286×1880	8,5	650	5,5	7,8	15
DO-600	2946×2692×2464	17	750	5,4	15,6	30
DO-1000	3353×3353×2896	28,3	750	7,2	25,5	40
DO-1350	3810×3581×3226	38	900	6,5	34	50
DO-1550	3962×3962×3226	44	750	7,5	39,6	60
DO-2500	4572×4572×3962	70	0,84	8,1	56,6	75

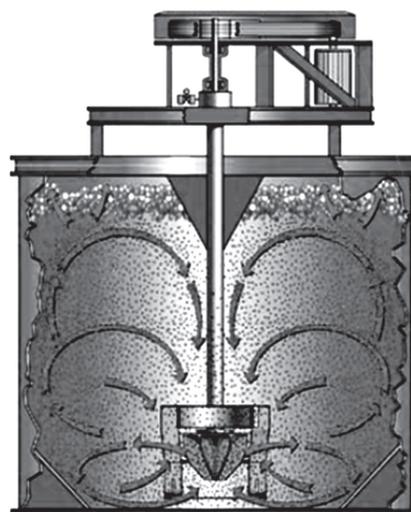


Рис. 12. Принцип работы флотомашины «Дорр-Оливер» [7]

При вращении ротора пульпа со дна камеры засасывается вверх в полости между лопастями, смешивается внутри лопастей с воздухом, и образующаяся пульпо-воздушная смесь выбрасывается между лопатками статора в камеру. Пузырьки поднимаются в пену, а пульпа по дну камеры возвращается на импеллер (рис. 12). Камера машины «Дорр-Оливер», начиная с № 300, имеет V-образное вертикальное сечение, что способствует циркуляции пульпы и препятствует осаждению песков [7].

Съем пены двусторонний. Камера сверху может быть закрыта крышкой, являющейся также площадкой для обслуживания. Машина «Дорр-Оливер» комплектуется из двухкамерных секций. Уровень пульпы в машине поддерживается вручную и автоматически. Технические характеристики машин «Дорр-Оливер» приведены в табл. 2 [7].

Флотомашин «Дорр-Оливер» по аэрационным характеристикам уступают флотомашинам фирмы «Wemco», в частности интенсивность аэрации в этих машинах меньше, чем у известных аналогов. Это приводит к невысоким показателям извлечения загрязнений из сточных вод и в процессах обогащения полезных ископаемых.

Компания «Дегремон» [8] применяет флотаторы двух вариантов: металлическая конструкция (Flotazur BR), стандартизируемая до диаметра 8 м (рис. 13), либо бетонное перекрытие, стандартизируемое до диаметра 20 м. Радиальные флотаторы оснащаются донными и поверхностными скребками. В зависимости от назначения скорость флотации варьирует от 2 до 10 м/ч, а доля рециркулируемой насыщенной воздухом воды составляет от 15 до 60%. Число скребковых элементов и отводных лотков устанавливается в зависимости от объема удаляемых флотопродуктов.

Флотатор Flotazur P является комбинацией флокулятора 1 и флотатора 2 прямоугольной формы и наиболее приспособлен для обработки воды с невысоким содержанием взвешенных веществ, формирующих легкие и непрочные флоккулы (рис. 14). Скорость разделения фаз составляет от 6 до 12 м/ч, доля рециркулируемой насыщенной воздухом воды варьирует от 6 до 12%.

После пребывания в течение 15–30 мин во флокуляторе, оснащенном низкоскоростным перемешивающим устройством, вода поступает:

- либо в камеры смешения 3, размещенные параллельно;
- либо в зону размещения форсунок, где она вводится в контакт с насыщенной воздухом водой 4. Плавающие продукты с противоположного конца 7 флотатора удаляют с помощью гребков. Они установлены на подвижном мостике 5, возвратно-поступательное движение которого по-

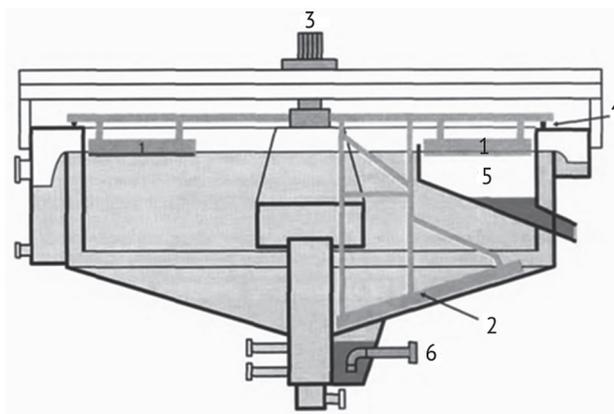


Рис. 13. Флотатор Flotazur BR [8]
1 – поверхностные скребки (от 2 до 6); 2 – донные скребки; 3 – привод электродвигателя с редуктором; 4 – ходовой ролик; 5 – удаление флотата; 6 – отвод донного осадка

зволяет очистить от «пены» часть бассейна, где происходит уплотнение плавающего слоя (от трети до половины длины резервуара) без возмущения зоны расширения слоя над камерами смешения. В зависимости от размеров флотатора мостик может приводиться в движение винтовым домкратом 6 или электродвигателем [8].

Конструкция флотаторов стандартизирована на площадь флотации 120 м², обычно они не оснащаются донными скребками. Близость скоростей обрабатываемой воды в традиционном флотаторе и фильтре (5–12 м/ч) навела на мысль об использовании нижней зоны флотатора в качестве верхней части фильтра (рис. 15). Фильтрующий материал располагают не на традиционной плите, а на несущем полу с дренажными колпачками. Регулирующее устройство (сифон или поплавковый клапан), установленное на выходе из фильтрованной воды, сохраняет постоянным ее уровень независимо от степени загрязнения фильтра.

Аппараты такого типа должны состоять из отдельных секций, включая систему флокулятор–флотатор–фильтр. Это связано с тем, что при промывке фильтра:

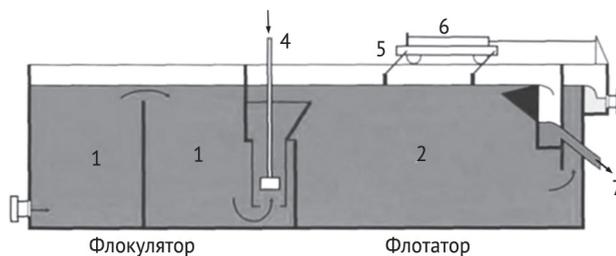


Рис. 14. Схема работы флотатора Flotazur P [8]
1 – флокулятор; 2 – флотатор; 3 – камера смешения; 4 – форсунки; 5 – подвижный мостик; 6 – винтовой домкрат; 7 – отвод плавающих продуктов

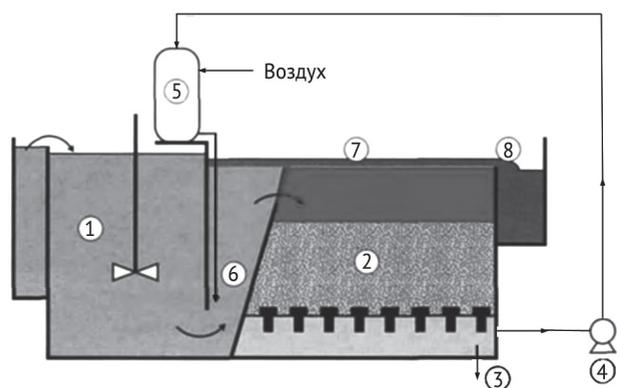


Рис. 15. Принципиальная схема аппарата типа флотатор-фильтр [8]
1 – флокулятор; 2 – фильтрующий слой (песок, двойной слой и т.п.); 3 – отвод фильтрованной воды; 4 – насос для подачи воды на насыщение воздухом; 5 – напорный бок; 6 – трубопровод для насыщенной воздухом воды; 7 – уплотненный слой флотопродуктов; 8 – отвод плавающих флотопродуктов и промывной воды фильтра

- во флокулятор не должна подаваться вода;
- флотатор должен быть приведен в состояние перелива (удаление промывной воды, а при необходимости — слоя флотопродуктов).

Комбинированные флотационные машины фирмы «Дегремон» имеют недостаток: недостаточно оптимизированы гидродинамические режимы ис-

пользуемых в этих машинах различных процессов, в частности флокуляции, флотации, фильтрации.

Большой популярностью пользовались установки напорной флотации. Флотатор СПЦ (СПЦ Крофта [9]) — это радиальная ёмкость из нержавеющей стали, сверху которой движется мост (рис. 16). На мосту располагаются спиральный шламособорник-пеноотделитель и трубы подачи очищаемой воды. Забор очищенной воды происходит из нижней зоны флотатора трубами, которые также вращаются совместно с мостом.

Напорная вода, т. е. смесь воды и воздуха, подготавливается из чистой воды, отбор которой происходит из зоны чистой воды флотационных установок. Напорный насос транспортирует воду с давлением 6–6.5 бар в реактор для приготовления водо-воздушной смеси (АДТ) через клапан и приводную трубу, на конце которой установлена форсунка. Одновременно в АДТ из компрессора подается воздух под давлением 7–9 бар через специальную массу для воздухововлечения (VYON). Требуемое количество воздуха устанавливается при помощи дросселя, помещенного в нижней части расходомера.

Очищаемая вода самотёком или при помощи насоса подаётся в центральную часть флотатора, откуда по трубе с распределительными вентилями подаётся в ёмкость флотатора. Одновременно в эту же трубу

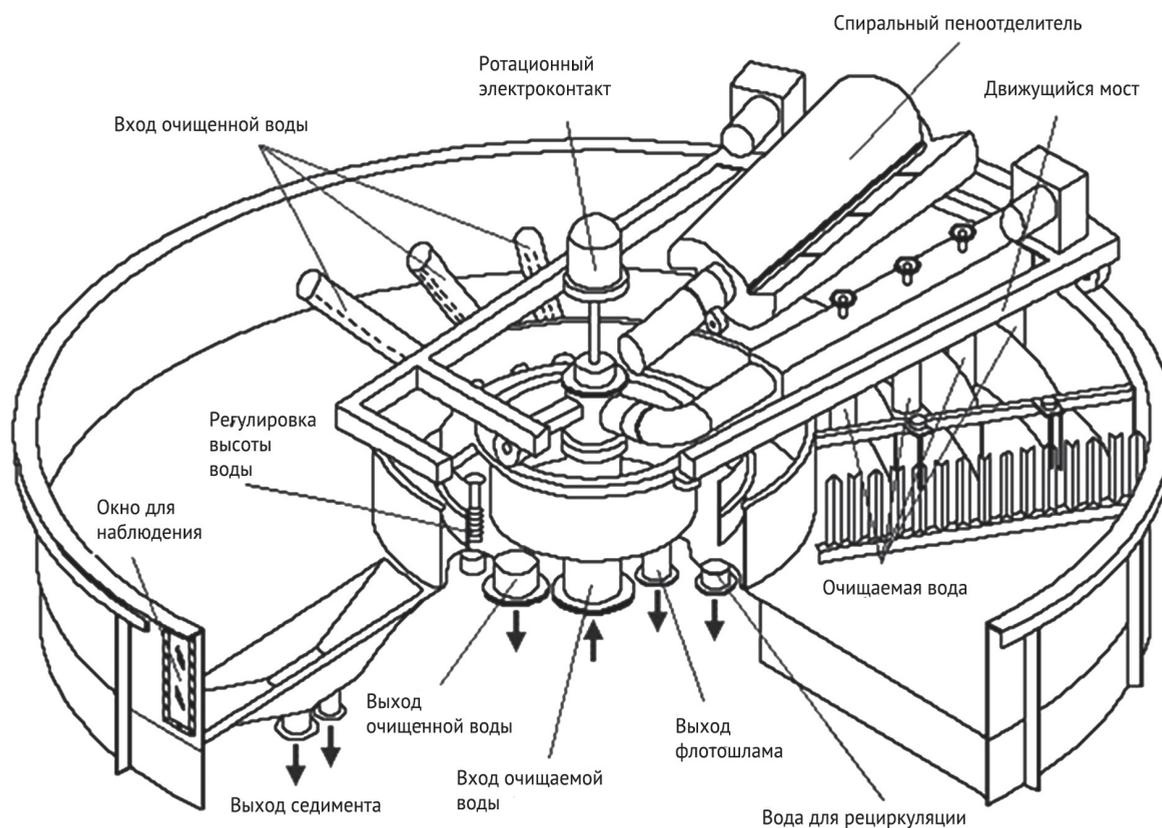


Рис. 16. Схема флотатора СПЦ (СПЦ Крофта) [9]

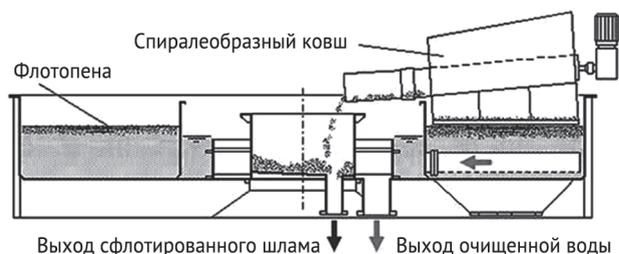


Рис. 17. Принцип работы флотатора СПЦ (СПЦ Крофта) [9]

подаётся водо-воздушная смесь, подготовленная в реакторе АДТ.

В емкости флотатора происходит декомпрессия водо-воздушной смеси. Пузырьки воздуха подхватывают загрязнения и флотируют их на поверхность резервуара, где образуется шламовый пирог, который собирается с поверхности спиральным ковшем.

Во флотационных установках СПЦ реализован эффект «нулевой скорости» (рис. 17 и 18) [9]. В традиционных флотационных установках всегда существует движение воды от входа к выходу через весь объём установки. Вызванная этим движением воды турбулентность является негативным фактором во флотации и значительно снижает эффективность флотационных установок.

Во флотационной установке СПЦ вход и выход вращаются вокруг центра. Очищаемая вода непрерывно подается в установку через вращающуюся входную распределительную трубу, а очищенная вода непрерывно выводится через вращающиеся трубы сбора очищенной воды. Скорости входной воды и моста синхронизированы так, что во время

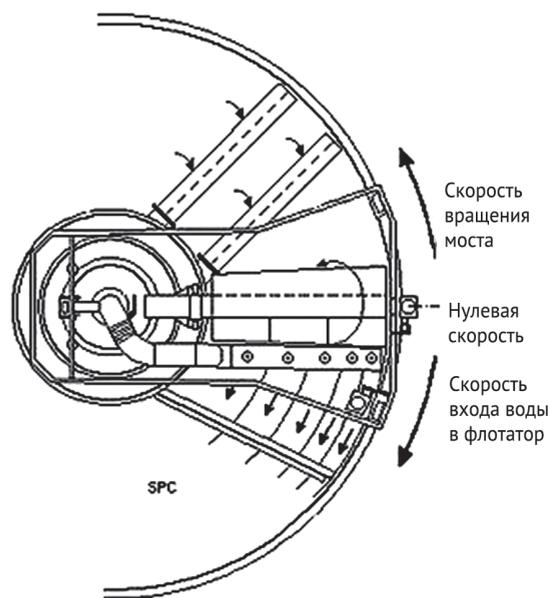


Рис. 18. Эффект «нулевой скорости» во флотаторе СПЦ [1]

флотации вода в резервуаре неподвижна. Таким образом достигается эффект «нулевой скорости». Это означает, что эффективность флотации приближается к максимальным теоретическим пределам, а на практическом уровне это позволяет довести эффект очистки практически до 100% [9].

Флотационные машины фирмы СПЦ Крофта достаточно сложные по конструкции и весьма дорогие. Последнее не позволяет фирме широко использовать свои разработки.

Совершенствование флотационной техники путем сочетания различных функций в одном корпусе аппарата предлагают многие разработчики [1, 9–16, 19, 23–30], в том числе и мы [1, 10, 12, 14–18, 21]. При этом в одном корпусе флотационной машины или аппарата устанавливаются, например блоки аэрации для осуществления флотационного процесса и элементы конструкций, характерные для процесса отстаивания. В итоге получается комбинированный аппарат – флотоотстойник. Хорошо известны также флотомшины, в которых сочетаются функции кондиционирующих и флотационных аппаратов [14]. Однако до сих пор не существует четких методических подходов к разработке многофункциональных аппаратов, в которых флотация — основной процесс.

В последние годы мы предприняли успешные попытки создать такие комбинированные аппараты — флотокомбайны. В них последовательно осуществляются подготовительные процессы — коагуляция, флокуляция и другие, которые способствуют разделению осветляемой системы, а также непосредственно процессы флотации, отстаивания и фильтрации. Такие флотокомбайны применяются на очистных сооружениях различных производств.

Б.С. Ксенофонтов разработал механические флотационные машины, в частности ФКМО-0.15 (рис. 19), на основе комбинированного способа извлечения гидрофобных загрязнений, позволяющие интенсифицировать процесс флотации.

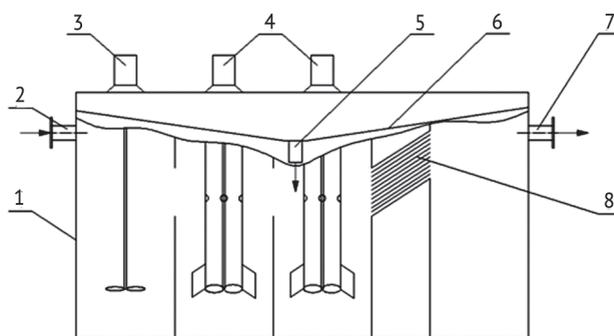


Рис. 19. Схема многокамерной флотационной механической машины 1 — Корпус; 2 — патрубок для подачи сточной воды; 3 — механическая мешалка; 4 — струйные аэраторы; 5 — патрубок для слива пены; 6 — пенный желоб; 7 — патрубок для слива очищенной воды; 8 — блок тонкослойного осветления



Рис. 20. Схема очистки воды во флотокомбайне

фицировать флотационный процесс. Они отличаются наличием дополнительных струйных аэраторов в виде коллектора с трубами, внутри которых установлены сопла, а также пластинчатым осветлителем в виде блока наклонных полок, установленных на расстоянии 5–10 см друг от друга. Применение струйных аэраторов повышает степень аэрации и уменьшает размеры пузырьков воздуха, а пластинчатый осветлитель специальной конструкции позволяет уменьшить вынос комплексов частиц – микропузырьков, не успевающих всплыть в предыдущих камерах, таким образом значительно повышая эффективность очистки.

В настоящее время во всех флотационных аппаратах любого типа наиболее мелкие флотокомплексы, которые из-за малой скорости всплытия, не успевают достичь пенного слоя, уносятся с потоком очищаемой жидкости. Сравнительные показатели эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов представлены в табл. 3 [1].

Анализ представленных в табл. 3 данных показывает, что по эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов большинство разработанных комбинированных флотационных машин и аппаратов превосходят современные зарубежные аналоги. Наиболее эффективны комбинированные пневматические флотомашины, но они имеют ряд недостатков. Если их устранить, то можно гарантированно достигать нормативных значений основных показателей качества очистки воды, особенно при сбросе ее в открытый водоем.

Таблица 3
Очистка сточных вод от нефтепродуктов
на комбинированных флотационных машинах

Тип флотационных машин и аппаратов	Концентрация нефтепродуктов, мг/л	
	исходная	конечная
Механические ФКМО*	50–100	5–10
Пневматические ФКП*	50–100	0,5–5
Напорные*	50–100	1–5
Электрофлотационные*	50–100	1–5
Механические (фирма «Wemco», США)**	50–100	10

*Данные испытаний.
**Рекламные данные.

В качестве перспективной разработки мы предложили различные типы флотоотстойников, представляющих частный случай комбинированных флотационных аппаратов. Схема очистки в них приведена на рис. 20.

Предлагаемый нами флотоотстойник (рис. 21) с последовательно установленными отстойной и флотационной камерами состоит из корпуса 1, на внешней стороне которого находятся патрубки подачи грязной воды 3, раствор реагента 4, патрубки отвода флотошлама 8, очищенной воды 9, осадка сточных вод 12, 16, установленных на конических бункерах 13 сбора осадка и трубчатого аэратора 14 с патрубком 15 для подачи рабочей жидкости в виде смеси воды и воздуха.

Внутри корпуса 1, в частности в отстойной камере 2, последовательно расположены перемешивающее устройство в виде мешалки 5 и блок тонкослойного осветления 6, состоящий из пакета пластин, наклонных друг к другу под углом α , равному от 3 до 30°,

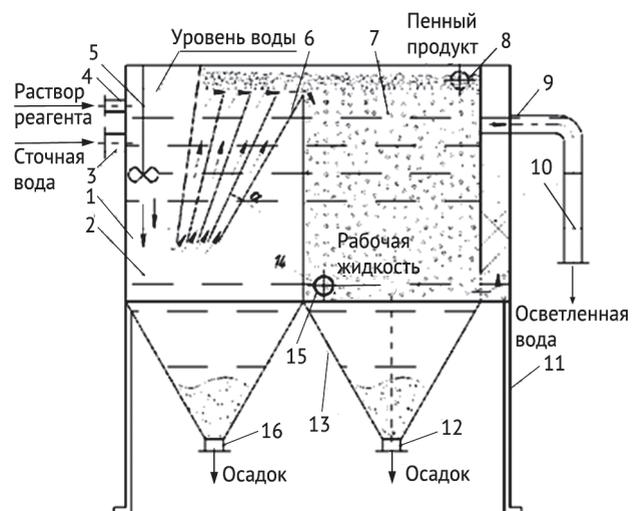


Рис. 21. Флотоотстойник с последовательно расположенными отстойной и флотационной камерами
1 – корпус; 2 – отстойная камера; 3 – патрубок подачи грязной воды; 4 – патрубок подачи раствора реагента; 5 – мешалка; 6 – блок тонкослойного осветления; 7 – флотокамера; 8 – патрубок отвода флотошлама; 9 – патрубок очищенной воды; 10 – фильтр; 11 – опорные стойки; 12, 16 – патрубки отвода осадка сточных вод; 13 – конический бункер сбора осадка; 14 – трубчатый аэратор; 15 – патрубок для подачи рабочей жидкости в виде смеси воды и воздуха

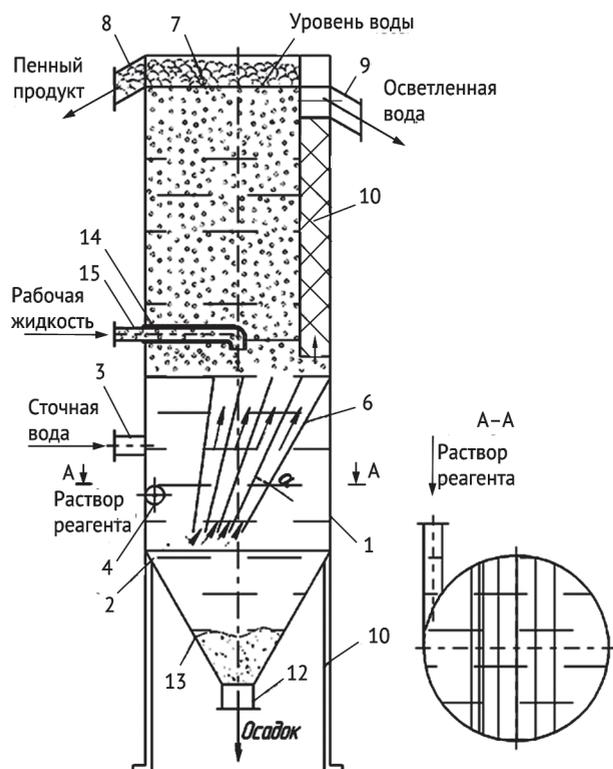


Рис. 22. Флотоотстойник колонного типа
1 – корпус; 2 – отстойная камера; 3 – патрубок подачи грязной воды; 4 – патрубок подачи раствора реагента; 5 – мешалка; 6 – блок тонкослойного осветления; 7 – флотокамера; 8 – патрубок отвода флотошлама; 9 – патрубок очищенной воды; 10 – фильтр; 11 – опорные стойки; 12, 16 – патрубки отвода осадка сточных вод; 13 – конический бункер сбора осадка; 14 – трубочатый аэратор; 15 – патрубок для подачи рабочей жидкости в виде смеси воды и воздуха



Рис. 23. Промышленный образец флотоотстойника

в зависимости от качества осветляемой воды. При этом пластины могут быть выполнены из волнистого материала с длиной и высотой волны соответственно 10...30 см и 1–5 см. В нижней части флотационной камеры расположен трубочатый аэратор 14, а в средней по высоте части — фильтр 10, выполненный из пористого волокнистого материала с размерами пор 1...100 мкм. В нижней части корпус 1 флотоотстойника опирается на опорные стойки 11.

Принцип работы флотоотстойника состоит в следующем. Исходная грязная вода через патрубок 3 поступает во флотокамеру 2 корпуса 1 флотоотстойника, куда также подается через патрубок 4 раствор реагента. Образующаяся смесь грязной воды и раствора реагента перемешивается с помощью мешалки 5. Перемешанная смесь с возникающими за счет действия реагентов хлопьями из частиц загрязнений поступает в межпленочное пространство блока тонкослойного осветления 6. При этом хлопья, оседая на нижнюю полку, сползают вниз по наклонной пластине, устремляясь в желоба волнистого материала, из которого изготовлены эти пластины. Далее эти хлопья выпадают в осадок, который удаляется через патрубок 16.

Далее предварительно осветленная вода поступает во флотокамеру 7, где происходит очистка воды от остаточных гидрофобных загрязнений, например нефтепродуктов, масел и жиров, за счет образования флотокомплексов частица загрязнения — пузырек воздуха, поступающего в смеси с водой через трубочатый аэратор 14. Образующиеся флотокомплексы загрязнения — пузырьки воздуха всплывают, создавая флотошлам в виде пенного слоя, который удаляется через патрубок 8, а очищенная вода выводится через фильтр 10 и далее через патрубок 9. При этом оседающие загрязнения выводятся через патрубок 12 в виде осадка. В результате очистки сточных вод в предлагаемом отстойнике степень извлечения загрязнений достигает 90–99%, при этом удельная гидравлическая нагрузка составляет 9–11 м³/м²ч.

Особенность работы флотоотстойника колонного типа (рис. 22) — одновременное осуществление процессов отстаивания в камере 2 и флотации в камере 7 (остальные позиции рис. 22 такие же, как на рис. 21). При этом длительность результирующего процесса контролируется по лимитирующей стадии очистки, которая определяется в результате предварительных испытаний.

Предлагаемый флотоотстойник позволяет осуществить более глубокую очистку сточных вод, в частности повысить степень извлечения загрязнений примерно на 10–15% и удельную гидравлическую нагрузку на 20...25% по сравнению с соответствующими показателями известных флотоотстойников. Были проведены опытные промышленные испытания комбинированной флотационной установки (рис. 23).

Таблица 4

Результаты опытно-промышленных испытаний комбинированной флотационной установки

Наименование определяемого ингредиента	Норматив мг/дм ³	Результат измерения концентрации загрязняющих веществ, мг/дм ³									
		1*		2		3		4		5	
		Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход
Водородный показатель pH	6,5–8,5	7,83	7,93	10,51	8,63	7,76	8,38	7,74	7,96	8,7	7,9
Цинк	2,5	0,63	0,44	0,27	0,13	0,184	0,048	0,192	0,026	0,117	0,055
Железо общее	1,0	0,35	0,104	0,19	0,09	0,81	0,19	0,44	0,13	0,34	0,16
Сульфаты	<300	222	184	**	–	125	110	175	138	263	133
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	0,1	0,615	0,012	0,328	<0,025	0,157	0,052	0,56	<0,025	0,235	<0,025
Нефтепродукты	0,5	1,16	0,068	1,9	0,09	2,03	0,016	1,35	0,12	1,6	0,162
Фосфор общий	0,2	0,27	0,071	–	–	1,30	0,141	0,14	0,09	0,17	0,131

* Номер режима испытаний.
** Данные отсутствуют.

Результаты этих испытаний представлены в табл. 4.

Представленные в табл. 4 данные не превышают установленных нормативов, что подтверждает высокую эффективность очистки сточных вод с использованием комбинированных флотационных установок. При необходимости интенсификации процесса можно добиться путем использования дополнительных узлов, например путем установки блоков электрообработки, вибровоздействия и т. д. В отдельных случаях эффективность очистки от использования указанных дополнительных блоков может быть повышена на 40–50%.

4. Флотационное сгущение осадков сточных вод

Флотационное сгущение осадков, в том числе активного ила, отличается простотой и достаточно небольшой продолжительностью процесса, в связи с чем этот способ получил широкое распространение, как в России, так и за рубежом [20]. Французская компания SNF Floerger разделяет прямую и непрямую флотацию активного ила. При осуществлении прямой флотации (рис. 24) осуществляется насыще-

ние воздухом необработанного ила, а при непрямой (рис. 25) — в воде, представляющей собой нижний продукт [20].

Прямая флотация активного ила более эффективна, чем непрямая, но при ее использовании могут возникать трудности.

Австрийская компания «KWI» разрабатывает множество видов флотаторов, в том числе для сгущения активного ила. Для небольших станций (от 16 до 300 м³/ч) компания изготавливает флотатор Minicell, который представлен на рис. 26 [21]. Флотатор недорогой и прост в управлении. Также в данной конструкции флотатора предусмотрен спиральный сборник для удаления флотошлама, благодаря которому процесс флотации эффективен, даже если шлам ломкий.

Для сгущения ила подходит флотатор Unicell компании «KWI», производительностью от 18 до 170 м³/ч (рис. 27) [21]. Данный флотатор можно использовать без применения химикатов за счет длительного пребывания воды.

Для станций высокой производительности компания «KWI» предлагает флотатор Megacell (рис. 28),

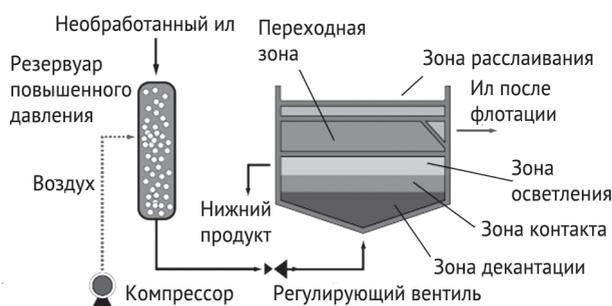


Рис. 24. Прямая флотация

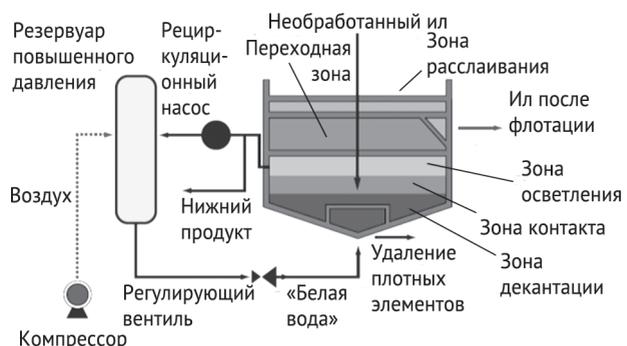


Рис. 25. Непрямая флотация



Рис. 26. Флотатор Minicell компании «KWI» [21]

основное достоинство которого — высокая гидравлическая нагрузка, вследствие чего он занимает мало места [21]. Высокая гидравлическая нагрузка достигается благодаря использованию U-образных элементов, за счет этого одновременно осуществляются прямоточная и противоточная флотация. В качестве недостатка флотационной техники KWI следует отметить ее сложность и высокую стоимость.

Интенсификация флотационного процесса сгущения активного ила предложена и в наших разработках [22, 31–33]. Сущность предлагаемого подхода состоит в том, в сгущаемую суспензию активного ила перед флотацией вводится насыщенный раствор углекислого газа с расходом 5–10% от расхода суспензии. В результате использования такого приема степень сгущения повышается в 1,5–2 раза по сравне-

нию с традиционным флотационным способом сгущения активного ила.

5. Заключение

Проведенный анализ научно-технических решений в области флотационной очистки сточных вод и развития флотационной техники показал, что за последние годы утвердились новые основы флотационного процесса, а в области развития флотационного оборудования произошли качественные изменения. В первую очередь, развитие флотационного оборудования пошло по пути создания оптимального режима флотационного процесса, а также расширению функций флотационного оборудования, включая использование сопутствующих процессов в одном корпусе аппарата. Видимо, в ближайшей перспективе эти тенденции сохранятся.



Рис. 27. Флотатор Unicell компании «KWI» [21]

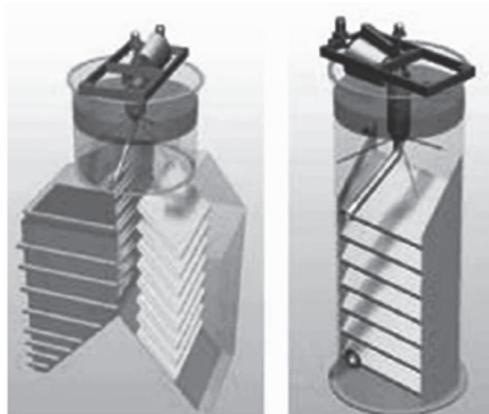


Рис. 28. Флотатор Megacell компании «KWI» [21]

ЛИТЕРАТУРА

1. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. — М.: Новые технологии, 2010.
2. Ксенофонтов Б.С., Иванов М.В. Способы интенсификации флотационной очистки сточных вод и загрязненных грунтов. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.
3. Ксенофонтов Б.С. Интенсификация очистки сточных вод флотацией. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2012.
4. Ксенофонтов Б.С., Иванов М.В., Байрамова А.Д. Пути интенсификации флотационного процесса очистки сточных вод с использованием вибрации // Экология промышленного производства. — 2012. — № 1. — С. 41–44.
5. Лавриненко А.А. Современные флотационные машины для минерального сырья // Горная техника: каталог-справочник. — 2008. — С. 186–195.
6. Рекламный буклет компании FLSmidth «Flotation Technology Brochure». 2010.
7. Рекламный буклет компании FLSmidth «Технологии флотации FLSmidth Dorr-Oliver Eimco». 2009.
8. Герасимов Г.Н. Технический справочник по обработке воды. — СПб.: Новый журнал, 2007. — Т. 1.
9. Компания Krofta Engineering Limited. <http://www.kroftaengineering.com>.
10. Электрофлотационный аппарат: авт. св. 764387 СССР / Ксенофонтов Б.С.; заявл. 19.01.79, опубл. 22.05.80.
11. Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулев Н.Н. Микрофлотация: Водоочистка, обогащение. — М.: Химия, 1986.
12. Ксенофонтов Б.С. Очистка воды и почвы флотацией. — М.: Новые технологии, 2004.
13. Ксенофонтов Б.С., Дулина Л.А., Моисеев М.Н. Флотационная очистка жиросодержащих сточных вод // Безопасность жизнедеятельности. — 2002. — № 12. — С. 19–22.
14. Мещеряков Н.Ф. Кондиционирующие и флотационные аппараты и машины. — М.: Недра, 1990. — С. 138–192.
15. Флотационная машина для очистки сточных вод: пат. 2130897 Рос. Федерация: МПК7 С 02 F 1/24, В 03 Д 1/14 / Ксенофонтов Б.С.; заявитель и патентообладатель Ксенофонтов Б.С. — № 97117428; заявл. 21.10.97; опубл. 27.05.99, Бюл. № 15.
16. Флотационная установка для очистки сточных вод: пат. 2169704 Рос. Федерация: МПК7 С 02 F 1/24 / Ксенофонтов Б.С.; заявитель и патентообладатель Ксенофонтов Б.С. — № 2000110429/12; заявл. 21.04.00; опубл. 27.06.01, Бюл. № 18.
17. Флотационная машина для очистки сточных вод: пат. 60511 Рос. Федерация: МПК С 02 F1/24 / Ксенофонтов Б.С., Капитонова С.Н.; патентообладатель ОАО «ГосНИИСинтезбелок». — № 2006128099/22; заявл. 02.08.06; опубл. 27.01.07.
18. Флотоотстойник: пат. 132434 Рос. Федерация: МПК С 02 F1/24 / Ксенофонтов Б.С., Петрова Е.В.; патентообладатель МГТУ им. Н.Э. Баумана. — № 2013108965/05; заявл. 28.02.2013; опубл. 20.09.2013.
19. Гюнтер Л.И. Состояние и перспективы обработки и утилизации осадков сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. — 2005. — № 11. — С. 3–8.
20. Рекламный буклет фирмы SNF Floerger «Sludge Dewatering».
21. ООО «КВИ Интернэшнл. <http://www.kwi-intl.com/>.
22. Способ очистки сточных вод: пат. 2108496 Рос. Федерация: МПК С 02 F1/24 / Ксенофонтов Б.С.; патентообладатель Ксенофонтов Б.С. — № 96107962/25; заявл. 22.04.96; опубл. 20.04.98.
23. Смирнов А.М., Смирнов М.Н., Аким Э.Л. Практика использования флотационной очистки на предприятиях ЦБП // Целлюлоза, бумага, картон. 2005. № 1. С. 70–75.
24. Смирнов М.Н. Экономические аспекты внедрения флотационных установок в локальных системах очистки оборотных вод // Целлюлоза, бумага, картон. — 1996. — № 3–4. — С. 41–42.
25. Смирнов А.М., Смирнов М.Н., Аким Э.Л. Применение методов напорной флотации в системах локальной и общезаводской очистки стоков // Целлюлоза, бумага, картон. — 2004. — № 10. — С. 74–80.
26. Смирнов М.Н., Гусарова Г.А., Мандре Ю.Г., Аким Э.Л. Сочетание методов физико-химической и биологической очистки для решения проблем водосбережения на предприятиях ЦБП России // Целлюлоза, бумага, картон. — 2012. — № 4. — С. 58–65.
27. Степанов С.В., Стрелков А.К., Сташок Ю.Е., Дубман И.С., Беляков А.В. Опыт проектирования очистных сооружений нефтеперерабатывающих заводов // Водоснабжение и санитарная техника. — 2013. — № 8. — С. 34–44.
28. Wenying Liu, Moran C.J., Sue Vink A review of the effect of water quality on flotation // Minerals Engineering. — 2013. Vol. 53. — P. 91–100.
29. Rubio J., Souza M.L., Smith R.W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique // Minerals Engineering. 2002. — Vol. 15, I. 3. — P. 139–155.
30. Polata H., Erdoganb D. Heavy metal removal from waste waters by ion flotation // Journal of Hazardous Materials. 2007. — Vol. 148, I. 1–2. — P. 267–273.
31. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С. Метод уплотнения избыточного активного ила с использованием раствора углекислого газа // Международная конференция «Водоотведение и утилизация осадков» IWA 2006. — С. 999.
32. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Дулина Л.А. Флотационный метод сгущения активного ила с использованием углекислого газа // Сборник докладов. 7-й международный конгресс «Вода: экология и технология» (ЭКВАТЕК-2006). — 2006. — Т.2. — С. 830.
33. Ksenofontov B.S., Ivanov M.V. Intensification of waste water and soils treatment by flotation. — М.: Bauman MSTU, 2013.

REFERENCES

1. Ksenofontov B.S. *Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy* [Flotation treatment of water, waste and soil]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2010. 272 p.
2. Ksenofontov B.S., Ivanov M.V. *Sposoby intensivifikatsii flotatsionnoy ochistki stochnykh vod i zagryaznennykh gruntov* [Methods intensification flotation wastewater and contaminated soil]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013. 66 p.
3. Ksenofontov B.S. *Intensifikatsiya ochistki stochnykh vod flotatsiyey* [Intensification of wastewater by flotation]. Saarbrücken, LAP LAMBERT Publ., 2012. 99 p.
4. Ksenofontov B.S. Ivanov M.V. Bayramova A.D. Ways of intensification of process of flotation of sewage treatment with vibration use. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Industrial ecology], 2012, I. 1. P. 41–44. (in Russian)
5. Lavrinenko A.A. Modern flotation machines for mineral raw materials. *Gornaya tekhnika: katalog-spravochnik* [Mining Engineering: catalogue]. 2008. P. 186–195. (in Russian)
6. Advertising booklet of FLSmidth "Flotation Technology Brochure", 2010, 16 p.
7. Advertising booklet of FLSmidth " Flotation technologies FLSmidth Dorr-Oliver Eimco", 2009, 8 p. (in Russian)
8. Gerasimov G.N. *Tekhnicheskii spravochnik po obrabotke vody* [Technical Reference for Water Treatment]. St. Petersburg, Novyy zhurnal Publ., 2007. V. 1, 775 p.
9. Krofta Engineering Limited. Available at: <http://www.kroftaengineering.com>
10. Ksenofontov B.S. *Elektroflotatsionnyy apparat* [Electroflotation unit]. Avt. sv. USSR, No 764387, 1980.
11. Deryagin B.V., Dukhin S.S., Rulev N.N. *Mikroflotatsiya: Vodoochistka, obogashchenie* [Microflotation: Water treatment, enrichment]. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 112 p.
12. Ksenofontov B.S. *Ochistka vody i pochvy flotatsiyey* [Treatment of water and soil by flotation]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2004. 224 p.
13. Ksenofontov B.S., Dulina L.A., Moiseev M.N. Flotation treatment of fat-containing wastewater. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety], 2002, I. 12. P. 19–22. (in Russian)
14. Meshcheryakov N.F. *Konditsioniruyushchie i flotatsionnye apparaty i mashiny* [Conditioning and flotation devices and machines]. Moscow, Nedra Publ., 1990, P. 138–192.
15. Ksenofontov B.S. Flotatsionnaya mashina dlya ochistki stochnykh vod [Flotation machine for wastewater treatment]. Patent RF, No 2130897, 1999. (in Russian)
16. Ksenofontov B.S. *Flotatsionnaya ustanovka dlya ochistki stochnykh vod* [Flotation unit for wastewater treatment]. Patent RF, No 2169704, 2001. (in Russian)
17. Ksenofontov B.S., Kapitonova S.N. *Flotatsionnaya mashina dlya ochistki stochnykh vod* [Flotation machine for wastewater treatment]. Patent RF, No 60511, 2007. (in Russian)
18. Ksenofontov B.S., Petrova E.V. *Flotootstoynik* [Flotation machine with sedimentation]. Patent RF, No 132434, 2013. (in Russian)
19. Gyunter L.I. Status and prospects of treatment and disposal of sewage sludge. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary technique]. 2005, I. 11. P. 3–8. (in Russian)
20. Advertising booklet of SNF Floerger "Sludge Dewatering", 36 p.
21. KWI International GmbH. Available at: <http://www.kwi-intl.com>.
22. Ksenofontov B.S. *Sposob ochistki stochnykh vod* [Method of wastewater treatment]. Patent RF, No 2108496, 1998. (in Russian)
23. Smirnov A.M., Smirnov M.N., Akim E.L. The practice of using flotation treatment for pulp and paper mills. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2005, I. 1. P. 70–75. (in Russian)
24. Smirnov M.N. Economic aspects of flotation plants in the local systems of circulating water treatment. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 1996, I. 3–4, P. 41–42. (in Russian)
25. Smirnov A.M., Smirnov M.N., Akim E.L. Application of methods of pressure flotation systems for local and plant wide wastewater treatment. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2004, I. 10. P. 74–80. (in Russian)
26. Smirnov M.N., Gusarova G.A., Mandre Yu.G., Akim E.L. The combination of physic chemical and biological treatment to address water conservation in the Russian pulp and paper industry. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2012, No 4. P. 58–65. (in Russian)
27. Stepanov S.V., Strelkov A.K., Stashok Yu.E., Dubman I.S., Belyakov A.V. The experience of designing oil refinery wastewater treatment facilities. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary technique], 2013, I. 8. P. 34–44. (in Russian)
28. Wenying Liu, Moran C.J., Sue Vink A review of the effect of water quality on flotation. *Minerals Engineering*, 2013, vol. 53. P. 91–100.
29. J. Rubio, M.L. Souza, R.W. Smith Overview of flotation as a wastewater treatment technique. *Minerals Engineering*, 2002, vol. 15, I. 3. P. 139–155.
30. Polata H., Erdoganb D. Heavy metal removal from waste waters by ion flotation. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, vol. 148, I. 1–2. P. 267–273.
31. Ksenofontov B.S., Kozodaev A.S. Method of compaction of activated sludge using a solution of carbon dioxide. *Mezhdunarodnaya konferentsiya "Vodootvedenie i utilizatsiya osadkov" IWA 2006* [International Conference "Wastewater disposal and utilization of sludges" IWA 2006]. Moscow, 2006, p. 999. (in Russian)
32. Ksenofontov, B.S., Kozodaev A.S., Dulina L.A. The flotation method thickening of activated sludge using carbon dioxide. *Sbornik dokladov. 7-y mezhdunarodnyy kongress*

"Voda: ekologiya i tekhnologiya" (EKVATEK-2006) [7th International Forum "Water: Ecology and Technology" (Ecwatech-2006)]. Moscow, 2006, vol. 2, p. 830. (in Russian)

33. Ksenofontov B.S., Ivanov M.V. Intensification of waste water and soils treatment by flotation. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013. 52 p.

Evolution of Flotation Equipment for Sewage Treatment and Active Sludge Thickening

B.S. Ksenofontov, Professor, Doctor of Technical Sciences, Bauman Moscow State Technical University

A.S. Kozodayev, Associate Professor, Ph.D. in Technical Sciences, Bauman Moscow State Technical University

R.A. Taranov, Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University

M.V. Ivanov, Associate Professor, Ph.D. in Technical Sciences, Bauman Moscow State Technical University

E.V. Senik, Post-graduate student, Bauman Moscow State Technical University

M.S. Vinogradov, Engineer, Bauman Moscow State Technical University

A.A. Voropayeva, Engineer, Bauman Moscow State Technical University

The article covers theoretical basics of flotation process and main stages of flotators' evolution. special attention is paid to flotation as multistage process as well as to definition of constants with theoretical and the experimental methods. Authors demonstrate that use of theoretical bases of multistage flotation model allows to significantly stimulating flotation process. Leading foreign and domestic innovations in flotation sewage treatment and active sludge thickening are presented. Promising research in constructing multi-tool flotation apparatus (flotation combine) is described. The article provides variants of multi-tool flotators' design, examples of its integration into operation, and the test data confirming its high effectiveness for sewage treatment and active sludge thickening. Methods of stimulating thickening with carbon dioxide and chemical agents are used for wastewater sludge (including active sludge).

Keywords: flotation sewage treatment, active sludge thickening, flotator, flotation combine.

3D-печатная мембрана-фильтр для воды

Компания-стартап Nano Sun (Сингапур) объявила о создании первой в мире мембраны для фильтрации воды, которая была напечатана на 3D-принтере. Инновационная мембрана-фильтр в два раза долговечнее, чем обычные полимерные мембраны, устойчива к разрушению и обладает антибактериальными свойствами. Она очищает воду в 10 раз лучше любых аналогов. Материал мембраны изготовлен по запатентованной нано-технологии из диоксида титана, который способен убивать бактерии и обезвреживать продукты раз-

ложения органических соединений в сточных водах с помощью солнечного света или ультрафиолетового излучения. Органические соединения, «осевшие» на 3D-напечатанной мембране, но плохо поддающиеся разложению, можно просто сжечь, поместив мембрану в печь, нагретую до 700 °С. Сейчас Nano Sun инвестирует деньги в разработку мембран для небольших портативных устройств. Их можно будет использовать и в быту, и при ликвидации последствий стихийных бедствий.

Прибор для контроля качества питьевой воды

Ученые из американского Департамента химического инжиниринга и Бристольской лаборатории робототехники разработали прибор для контроля качества питьевой воды в режиме реального времени. Корпус датчика изготовлен на 3D-принтере и его можно применять непосредственно в реках, озерах и других водоемах для непрерывного мониторинга качества воды. Датчик, как и обычный микробный топливный элемент, содержит бактерии, которые в анаэробной среде преобразуют химическую энергию в электричество. Исследователи обнаружили, что, когда бактерии вступают в

контакт с токсинами в воде, выработка электроэнергии уменьшается, что и является верным признаком присутствия загрязняющих веществ. Причем чем больше концентрация токсинов в воде, тем меньше электричества вырабатывают бактерии. И что самое главное, выработка электроэнергии восстанавливается, как только уровень содержания токсинов в воде уменьшается. Таким образом, ученые получают возможность контролировать концентрацию загрязняющих веществ в воде без необходимости сбора многочисленных образцов для проверки в лаборатории.

Источник: портал GreenEvolution.ru