

Раздел второй ОХРАНА ВОДНОГО БАСЕЙНА ОТ СБРОСОВ

2.3. Очистка промышленных и поверхностных сточных вод энергопредприятий

2.3.2. Очистка промышленных сточных вод на энергопредприятиях

2.3.2.1. Флотационная очистка промышленных сточных вод

Ксенофонтов Б.С., МГТУ им.Баумана

На отечественном рынке для очистки промышленных сточных вод, в частности содержащих нефтезагрязнения, предлагаются в основном технологические схемы, функционирующие по принципу флотация — фильтрация или отстаивание — фильтрация.

В качестве примера рассмотрим достаточно распространенную на отечественном рынке технологию очистки нефтесодержащих сточных вод. Суть технологии основана на принципе отстаивания сначала в специальном отстойнике для отделения песка, а затем в нефтеловушке с созданием оптимальных условий для извлечения нефтепродуктов, находящихся в мелкодисперсном состоянии, и доочистке растворенных и находящихся в коллоидном состоянии нефтепродуктов в наливном или напорном фильтре с угольной загрузкой.

По отзывам большинства заказчиков, у которых внедрена подобная система очистки, практически нигде не достигнуты нормативные показатели качества очищенных сточных вод по нефтепродуктам (норма — 0,05 мг/л). Кроме того, указанная система применяется для очистки сточных вод от нефтепродуктов только с плотностью мазута не более 0,95 кг/дм³. Для очистки сточных вод, например, от мазута марки 100 эта система не является работоспособной из-за закупоривания густыми нефтепродуктами малого (10...12 мм) межполочного пространства в нефтеловушке.

В целом, анализируя подходы отечественных и зарубежных фирм, следует отметить, что некоторые известные европейские фирмы, например «Дегремон» (Франция) закладывают для очистки нефтесодержащих сточных вод дорогие многоступенчатые схемы, практически неприемлемые для отечественной практики, а отечественные фирмы стремятся максимально использовать дешевые материалы, что, в конечном счете, снижает технический уровень внедряемых решений.

Тем не менее, в России разработан ряд перспективных установок для очистки промышленных сточных вод энергопредприятий. В первую очередь это относится к очистке конденсата турбоустановок от нефтепродуктов.

На ряде электростанций с теплофикационными и конденсационными турбоустановками имеет место проблема попадания турбинного масла в линию основного конденсата. Происходит это в связи с протечкой масла по валу турбины через камеру уплотнений и пароструйные эжекторы в охладитель эжекторов и далее в систему основного конденсата.

Указанные протечки масла усиливаются при нестационарных режимах, например во время пусков и остановов турбоустановок. Обычно при установившейся нагрузке содержание нефтепродуктов в конденсате эжекторов уплотнений не превышает 5 мг/л. При пусках и остановках турбины концентрация нефтепродуктов может возрасти до 50 мг/л и более, что приводит к значительному снижению ресурсов ионообменных смол фильтров блочной обессоливающей установки (БОУ).

В этой связи наиболее рациональным решением этой проблемы является локальная очистка конденсата уп-

лотнений эжекторов от нефтепродуктов. При этом технология очистки не должна содержать напорных фильтрующих элементов, так как это значительно усложнит эксплуатацию турбоустановки. Особенно важно, чтобы осуществлялась очистка от залповых сбросов нефтепродуктов. Для решения указанной задачи на энергоблоках Южной ТЭЦ ОАО «Ленэнерго», оснащенных турбоустановками Т-250, установлены нефтеловушки отстойного типа. Опыт эксплуатации этих нефтеловушек показал, что с их помощью решить проблему очистки конденсата не удастся. Причины две: высокая температура конденсата (55...70 °С) и высокая скорость потока воды. Для обеспечения очистки конденсата уплотнений была предложена флотационная машина пневматического типа, опытный образец которой установлен на энергоблоке № 2. Пневматическая флотационная машина была установлена на стадии доочистки технологического конденсата после существующей нефтеловушки (рис. 2.22).



Рис. 2.22. Принципиальная схема очистки технологического конденсата на Южной ТЭЦ ОАО «Ленэнерго»

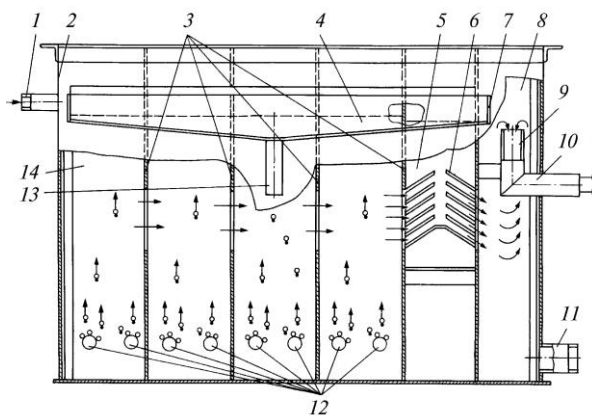


Рис. 2.23. Схема пневматической флотационной машины типа ПФМ-0,5

Пневматическая флотационная машина (рис. 2.23) включает корпус 2, разделенный на четыре камеры 4 с установленными в нижней части пористыми аэраторами 12. Аэраторы могут быть выполнены из деформируемого (например, резина или полиэтилен) или недеформируемого (например, керамика или металл) материала. В установленном на энергоблоке № 2 опытном образце пневматической флотационной машины в качестве материала для аэраторов использовалась маслостойкая резина с размерами специальных отверстий (пор) 0,5 мм.

В дополнительной камере 5 установлен специальный блок тонкослойного осветления 6, а также устройство регулирования уровня жидкости 9. На внешней стороне корпуса флотомашины находятся входной 1 и выходной 10 патрубки соответственно для ввода и вывода сточной воды, а также пенный желоб 7 с выходным патрубком 13 для вывода уловленных загрязнений в виде эмульсии.

Принцип работы пневматической флотационной машины заключается в следующем. Исходную (грязную) воду подают через входной патрубок 1, и далее она движется в горизонтальном направлении через камеры 4, разделенные межкамерными перегородками 3, с пористыми аэраторами 12 и дополнительную камеру 5 с блоком тонкослойного осветления и выводится из машины через устройство регулирования уровня 9 и выходной патрубок 10. При движении воды через первые четыре

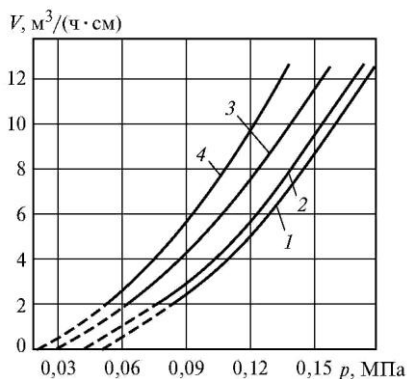


Рис. 2.24. Газопроницаемость перфорированной резиновой трубки размером 25×5 мм в зависимости от давления на входе в аэратор p и от режима перфорации:

1 — игла № 12, 60 отв./см²; 2 — игла № 10, 70 отв./см²; 3 — игла № 12, 58 отв./см²; 4 — игла № 10, 70 отв./см²

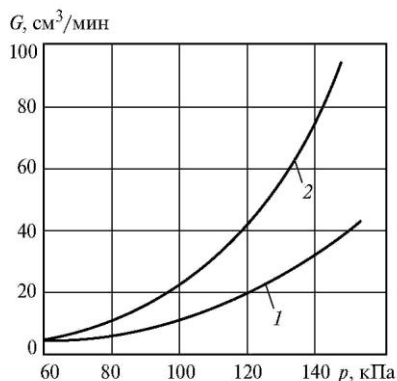


Рис. 2.25. Зависимость расхода воздуха G от давления p в резиновом аэраторе через одно отверстие:

1 — для мягкой трубки; 2 — для жесткой трубки

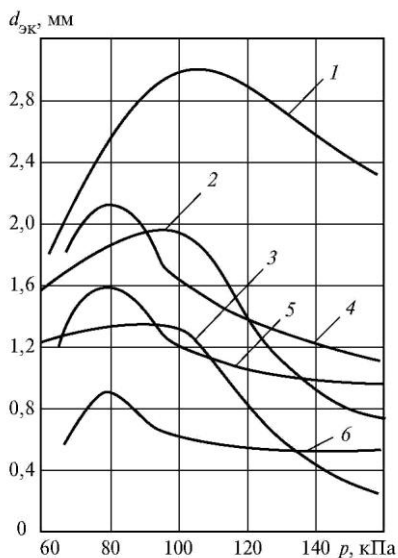


Рис. 2.26. Зависимость среднего эквивалентного диаметра пузырька $d_{эк}$ от давления воздуха p внутри трубчатого аэратора при различной концентрации вспенивателя (0; 4,6; 8,2 мг/л):

1—3 — для жестких трубок; 4—6 — для мягких трубок

камеры происходит ее аэрация (барботирование) пузырьками воздуха, подаваемого под давлением через пористые аэраторы. При этом пузырьки воздуха слипаются с гидрофобными загрязнениями и в виде флотокомплексов капельки нефтепродуктов — пузырьки воздуха всплывают. Уловленные загрязнения в виде пенного продукта (эмульсия с концентрацией нефтепродуктов 10...20 %) самотеком удаляются через желоб 7 и выходной патрубок 13. Патрубок 11 предназначен для слива жидкости при ремонте флотомашин.

Известно, что эффективность работы флотомашин во многом зависит от типа и конструкции аэраторов. В этой связи следует более подробно рассмотреть устройство и принцип действия применяемых в этих машинах аэраторов.

Во флотомашинах пневматического типа применяются преимущественно трубчатые аэраторы, которые обычно представляют собой сварную конструкцию из труб, состоящую из каркаса с центральным коллектором, на котором установлены подводный и заглушенный патрубки. При этом на каркасе равномерно распределены штуцеры, на которые устанавливаются и закрепляются хомутами диспергирующие элементы из перфорированных резиновых трубок.

Аэратор работает следующим образом. При подаче сжатого воздуха в центральный коллектор происходит его равномерное распределение по всем диспергирующим элементам. Отверстия в резиновых трубках раскрываются, и при этом происходит выход воздуха в воду в виде пузырьков. Расход воздуха через такие аэраторы определяется давлением на входе, размером диспергирующих элементов, их количеством, а также размером пор на диспергаторе. Газопроницаемость резиновых трубок размером 25×5 мм (ГОСТ 5496—78) с различными режимами перфорации приведена на рис. 2.24.

При прекращении подачи воздуха в аэратор поры на диспергирующем элементе закрываются и предотвращают попадание воды с находящимися в ней загрязнениями в каркас аэратора. Такие трубчатые аэраторы обеспечивают равномерность аэрации, хорошую дисперсность воздушных пузырьков и надежность в работе. Рабочее давление на входе в аэратор, в зависимости от глубины его погружения во флотомашину, составляет 0,15...0,25 МПа.

Одной из главных характеристик, влияющих на экономичность пневматических флотомашин, является сопротивление аэратора при продувке через его поры воздуха. В этой связи ко всем трубчатым аэраторам предъявляются следующие требования: минимальные и одинаковые размеры пор и возможно меньшее сопротивление при продувке через них воздуха. При увеличении диаметра пор снижается их сопротивление, но увеличиваются размеры пузырьков. В зависимости от эластичности резины и гидростатического давления воды размер пор в трубчатых аэраторах составляет 0,5...2,5 мм.

Зависимость расхода воздуха в аэраторе от давления приведена на рис. 2.25. Данные, приведенные на рис. 2.25, показывают, что с повышением давления резко увеличивается расход воздуха через поры диспергатора. При этом с увеличением давления изменяется и средний эквивалентный диаметр пузырька (рис. 2.26): сначала увеличивается и достигает максимума, а затем уменьшается до минимума. При использовании мягких трубок этот максимум соответствует давлению примерно 80 кПа, а для жестких трубок — 100 кПа. Следует отметить,

что при добавлении вспенивателя и с увеличением его концентрации размер пузырьков уменьшается.

Результаты испытаний показывают, что резиновые перфорированные трубки устойчиво работают даже в больших объемах флотационных машинах пневматического типа. При этом обеспечивается получение пузырьков диаметром 0,3...1,5 мм. С учетом механической прочности и максимальной аэрирующей способности аэратора для трубок с внутренним диаметром от 8 до 12 мм оптимальное количество пор составляет 35...40 на 1 см² аэратора. Для больших размеров трубок количество пор увеличивается до 70 на 1 см² аэратора. С увеличением диаметра и толщины стенок трубок (5...8 мм) возрастает давление от 140 до 160 кПа для обеспечения равномерности аэрации по длине аэратора.

Перфорацию эластичных трубок, устанавливаемых на трубчатых аэраторах, осуществляют на перфорационной машине МП-1. Конец трубки, подлежащей перфорации, срезается под углом 10...45° и вставляется между направляющими и протяжными роликами. Затем включается электродвигатель, который через редуктор приводит в рабочее состояние каретку с иглодержателем, после чего осуществляется перфорация трубки. Требуемый шаг между отверстиями при перфорации резиновых трубок определяется изменением диаметра протяжного барабана и установкой игл на иглодержателе с соответствующим шагом.

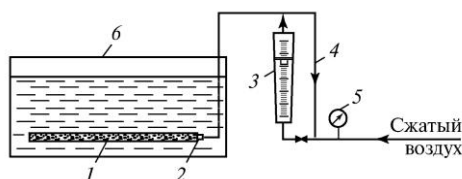


Рис. 2.27. Схема испытаний перфорированных трубок на газопроницаемость и разрыв:
1 — перфорированная трубка; 2 — штуцер; 3 — ротаметр;
4 — воздухопровод; 5 — манометр; 6 — резервуар

Машина МП-1 позволяет перфорировать трубки с использованием круглых игл диаметром 0,5...3,0 мм и плоских с шириной отверстий 0,25 мм и более. Длина щели зависит от ширины используемой иглы и достигает 6 мм. От количества и размеров отверстий на трубке зависит пористость аэратора. Проходные отверстия на трубках располагаются в шахматном порядке. Обычно расстояние между центрами отверстий по окружности в зависимости от диаметра трубок составляет 2...4 мм.

Перфорированные трубки проверяют на газопроницаемость, которая при давлении 0,1 МПа для образцов длиной 1,7 м должна составлять 0,2...0,45 и 0,05...0,15 м³/мин для трубок 25×5 и 16×5 мм соответственно. Перфорированные образцы трубок в течение 10...15 мин испытываются на разрыв при давлении выше рабочего в 2,0...2,5 раза (рис. 2.27).

Трубчатые аэраторы комплектуются трубками одного типоразмера и одинаковой газопроницаемости. Допустимое отклонение по газопроницаемости перфорированных трубок не превышало 10 %. Окончательная сортировка трубок проводилась в условиях КТЦ Южной ТЭЦ ОАО «Ленэнерго». Сборка и проверка аэраторов заключались в установке перфорированных резиновых трубок, опрессовке аэратора, испытании на надежность, равномерность аэрации и определении расходных характеристик. Для этих целей использовался стенд, схема которого приведена на рис. 2.28.

Стенд состоит из цилиндрического резервуара 5 диаметром 1500 мм и высотой 1200 мм. Рядом с резервуаром установлены ротаметр 1, ресивер 2 (масловлагоуловитель) с манометром 3, расходомером 4 и запорной арматурой 6, 9, 10, 11. Соединение узлов между собой и аэратором 7 осуществляется с помощью гибких рукавов 8. Ресивер предназначен для независимой подачи воздуха в аэратор и ротаметр, а также для улавливания влаги, масла и пыли из сжатого воздуха, которые периодически удаляются через вентиль 6. Дренажный вентиль 12 обеспечивает опорожнение резервуара для смены воды.

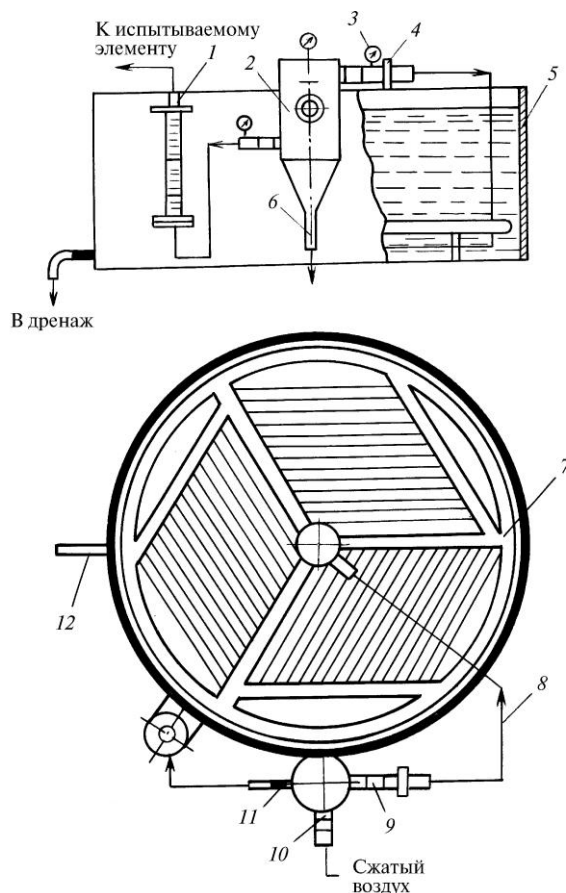


Рис. 2.28. План и разрез стенда для испытания аэраторов

Описанная выше подготовка аэраторов была проведена частично на стадии изготовления резиновых аэраторов из трубок $\varnothing 25 \times 5$ мм и длиной 900 мм и частично на стадии пуска наладки. Осуществление такой подготовки обеспечило в дальнейшем эффективную работу флотомашин, что и было подтверждено результатами длительных испытаний.

Испытания пневматической флотомашин были проведены в два этапа. На первом этапе в основном обрабатывался режим аэрации, который существенным образом влияет на эффективность флотационной очистки конденсата. В табл. 2.5 представлены результаты очистки конденсата в зависимости от интенсивности аэрации при уровне воды во флотаторе 0,9 м.

Анализ данных, представленных в табл. 2.5, показывает, что наибольший эффект очистки конденсата флотацией достигается при интенсивности аэрации 0,8 м³ на 1 м² поверхности конденсата в 1 мин.

Таблица 2.5. Зависимость эффективности флотационной очистки конденсата от интенсивности его аэрации

Номер пробы	Интенсивность аэрации, м ³ /(м ² ·мин)	Концентрация нефтепродуктов, мг/л		Эффект очистки, %
		до очистки	после очистки	
1	0,3	7,2	4,1	43
2	0,4	7,2	3,9	46
3	0,5	7,2	2,3	68
4	0,6	7,2	1,8	75
5	0,7	7,2	1,1	84
6	0,8	7,2	0,7	90
7	0,9	7,2	1,3	82
8	1,0	7,2	1,9	74
9	1,1	7,2	2,7	63
10	1,2	7,2	3,8	47

При проведении итоговых испытаний в тех же условиях было установлено, что концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, выходящей из флотомашины, составила 0,3...2,0 мг/л (в отдельных случаях 4...5 мг/л).

Таблица 2.6. Итоговые результаты промышленных испытаний пневматической флотационной машины ПФМ-0,5 на энергоблоке № 2 Южной ТЭЦ ОАО «Ленэнерго»

Номер пробы	Концентрация нефтепродуктов в технологическом конденсате, мг/л	
	до очистки	после очистки
1	2,34	0,36
2	41,0	3,7
3	37,0	3,2
4	51,3	4,2
5	28,6	2,0
6	10,1	0,4
7	4,7	0,7
8	8,4	1,0
9	2,6	0,3
10	4,1	0,5

Указанное качество очистки технологического конденсата было подтверждено в результате проведения длительных испытаний опытного образца пневматической флотационной машины в КТЦ Южной ТЭЦ на энергоблоке № 2. Итоговые результаты испытаний представлены в табл. 2.6.

Данные испытаний пневматической флотационной машины, представленные в табл. 2.6, показывают, что качество очистки воды от нефтепродуктов не превышает 4...5 мг/л даже при больших начальных концентрациях нефтепродуктов в исходном конденсате. Это позволяет гарантировать указанное качество при эксплуатации подобных установок на стадии очистки технологического конденсата от нефтепродуктов.

Гарантированное качество очищенной воды во многом будет определяться также правильной эксплуатацией локальных очистных сооружений. Во время эксплуатации очистных сооружений должен осуществляться постоянный контроль. Методы контроля за работой очистных сооружений включают:

- визуальный контроль за работой технологического оборудования;
- проведение анализов с помощью специальных приборов.