

## ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

---

УДК 628.33+16.067

Высоцкий С.П., д.т.н., Тужанская Е.В., бакалавр

АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ОБОРОТНЫХ ЦИКЛАХ

*Рассмотрены проблемы, возникающие в оборотных системах водоснабжения, при наличии в последних взвешенных веществ. Приведены перспективные технологии очистки воды для оборотных систем, оборудованных градирнями.*

#### **Состояние проблемы**

Открытые охладительные системы состоят из градирни, резервуара, чаши градирни, циркуляционных насосов и источника тепла. Как известно [1], градирня представляет собой устройство, в котором вода охлаждается за счет её испарения, таким образом, атмосферный воздух насыщается парами воды.

Градирни бывают 2-х основных типов: с принудительной и естественной тягой. В градирнях с естественной тягой поступление воздуха зависит от атмосферных условий, с принудительной – используются механические вентиляторы для подачи воздуха на градирню. В последних воздух проходит через градирню за счёт вентиляторов, которые размещены в месте поступления воздуха либо на выходе из градирни (индуцируемый тип).

Резервуар-чаша градирни размещается в нижней части градирни для сбора и хранения охлаждённой воды. В чашу также подаётся подпиточная вода. Указанный резервуар является местом забора воды для насосов охладительной системы. Насосы служат для отбора тепла из технологического контура, за счёт подачи охлаждённой воды к источнику тепла. Подогретая вода подаётся обратно в градирню, которая рассеивает тепло в атмосферу.

Другим методом удаления тепла от источника является обмен тепловой энергией через теплопередающие поверхности, например, теплообменники. В данном случае другая жидкость в замкнутом контуре передаёт тепловую энергию от источника к охлаждаемой воде через металлические пластины или тонкие стенки металлических труб. При этом не происходит смешивания между водой открытой системы охлаждения и жидкостью в системе закрытого цикла [1].

Существенной проблемой при эксплуатации оборотных систем является наличие в системе взвешенных частиц. Они могут вызвать снижение эффективности теплопередачи на каком-либо участке системы охлаждения, что обуславливает увеличение расхода воды для повышения эффективности отвода тепла. Это, в свою очередь, вызывает необходимость в большем количестве энергии для привода насосов, что ведёт к повышению энергозатрат для достижения необходимой мощности. Сопла в противоточных градирнях имеют очень маленькие отверстия и могут легко засоряться органическими и неорганическими отложениями, что приводит к неравномерному распределению воды по сечению градирни, а, следовательно, к неравномерному охлаждению и потере эффективности отвода тепла в атмосферу.

Многие градирни содержат насадку для создания тонкой плёнки жидкости, увеличивающей поверхность отвода тепла для интенсификации теплопередачи [3]. Взвешенные вещества могут блокировать сечение для прохождения в этой насадке, при этом уменьшается площадь испарения и отдача тепла от охлаждаемой жидкости. Кроме этого, за счет отложе-

ний формируются благоприятные условия для развития микроорганизмов, таких как водоросли и другие биообросдания, среди которых имеют место патогенные микроорганизмы.

Взвешенные вещества обуславливают также ряд других проблем. Например, вследствие осаждения взвешенных частичек в чаше градирни требуется периодическая остановка для очистки чаши, что экономически невыгодно, особенно, если это сказывается на основном производстве.

Накопленный осадок является благоприятной средой обитания водорослей, бактерий и других организмов. Выпавшие осадки могут изолировать стенки чаши от воздействия химикатов, таких как ингибиторы коррозии, что приводит к непредвиденным разрушениям (повреждение арматуры железобетонных конструкций и металлических резервуаров).

Абразивные частицы могут также вызвать ускоренную коррозию рабочих колёс насосов. Это может привести к частым остановкам для ремонта и создаёт необходимость дополнительных капитальных вложений. Кроме насосов в ремонте или замене могут нуждаться трубопроводы, клапаны, фитинги, теплообменники и другие детали.

### **Цель работы**

Определение наиболее эффективных методов удаления взвешенных веществ из системы оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

### **Изложение материала исследований**

При отводе тепла от теплообменников очень важно, чтобы коэффициент загрязнения находился на наиболее низком уровне. Из таблицы 1 видно, что при отложениях толщиной 0,30 мм потребление энергии увеличивается на 10%, что увеличивает текущие эксплуатационные затраты.

Загрязнение может быть вызвано как органическими, так и неорганическими веществами, которые находятся в воде либо на поверхности системы охлаждения.

Таблица 1

Увеличение энергозатрат и коэффициента теплопередачи в зависимости от толщины накипи

Толщина отложений, мм	Коэффициент теплопередачи, $Вт / м^2 \cdot К$	Увеличение энергозатрат, %
0,15	4184	5,3
0,30	1730	10,6
0,60	862	21,5
0,90	578	32,2
1,20	433	43,0

По мере накапливания тяжёлых частиц снижается расход воды через теплообменники, в результате чего снижается эффективность работы оборудования, а также возникает необходимость в дополнительном обслуживании либо преждевременной замене отдельных элементов. Система охлаждения, в которой имеются распылительные форсунки, особенно восприимчива к наличию взвешенных частиц. Если отверстия насадок будут закупорены, то процесс становится менее эффективным.

В других процессах, характеризующихся прямым контактом охлаждаемой воды и продукта, может быть также ухудшена эксплуатация системы охлаждения. Частицы могут оседать в накопительной ёмкости и влиять на качество конечной продукции, вызывая её функциональную или эстетическую непригодность.

Содержание взвешенных частиц в открытой охладительной системе влияет опосредованно на её качество. Взвешенные вещества, даже находясь в растворе, являются субстратом для микроскопических организмов, которые растут и размножаются.

Для качественной очистки воды в открытых системах охлаждения необходимы реагенты, такие как биоциды, для контроля содержания патогенных и непатогенных организмов. Органические вещества во взвешенном состоянии потребляют большое количество биоцидов. Неорганические вещества могут связывать биоциды, адгезируя их на своей поверхности.

Ингибиторы коррозии и полимеры — это вещества, препятствующие или замедляющие процессы образования ржавчины и сдерживающие растворение частиц в растворе. Взвешенные вещества могут связывать данные реагенты, поэтому возникает необходимость в большем их количестве для поддержания определённой концентрации, что приводит к увеличению текущих затрат.

Некоторые органические вещества, такие как пыльца или зёрна попадают в градирню с ветром либо переносятся туда птицами или насекомыми; некоторые развиваются внутри системы охлаждения: водоросли, бактерии и другие биообращения. Хлопья ржавчины могут повреждать стенки труб системы, а также выпадать в осадок.

Источник тепла также может являться и «источником» взвешенных веществ, особенно, если охлаждаемая вода контактирует с ним. Однако в большинстве случаев основная масса взвешенных веществ поступает из атмосферы непосредственно в градирне. Для уменьшения текущих затрат необходимо снижение содержания взвешенных веществ до минимума.

Для очистки воды в градирне от взвешенных веществ существует ряд способов [4], но в рамках данной статьи мы остановимся лишь на методах фильтрации.

Фильтрация используется во многих механизмах в различных сочетаниях:

1. Рукавные фильтры. Действуют по принципу двумерной пористой поверхности. Фильтрующие элементы выполнены из ткани с отверстиями определённого размера. Общая конструкция такого фильтра – напорный сосуд, вмещающий один или несколько фильтрующих элементов. Фильтруемый поток обычно направляется изнутри на внешнюю поверхность элементов.

2. Картриджные (патронные) фильтры. Состоят из цилиндрических элементов расположенных в напорном баке. Однако в отличие от рукавных, картриджные фильтры обеспечивают трёхмерное фильтрование, т.е. фильтрование осуществляется по всему объёму картриджа.

3. Насыпные фильтры, загруженные гранулированным материалом. Наиболее распространённые — песчаные. Возможно использование одно- и многослойных фильтров загруженных песком, гравием, антрацитом и др. По мере движения потока через загрузку, взвешенные вещества задерживаются между гранулами. Песчаные фильтры используются для очистки воды более двух тысячелетий.

4. Сеточная фильтрация — метод фильтрации, используемый в градирнях. Такие фильтры основываются на принципах двумерного фильтрования. Охлаждаемая вода проходит через клинообразные или тканевые сетки, навитые на перфорированные цилиндрические элементы. При этом твёрдые частички оседают на поверхности сеток. Данные фильтры могут находиться в режиме как ручной, так и автоматической очистки.

Все описанные системы кондиционирования воды в системах охлаждения могут быть выполнены как системы полного, так и байпасного потоков. В случае полнопоточного фильтрования потока система очистки размещается в потоке воды на пути к источнику тепла. На рисунке 1 показана полнопоточная система фильтрации в циркуляционной системе (на рисунке 2 изображены другие возможные схемы систем фильтрации). Поскольку в системе фильтрования возможны непредвиденные ремонты, необходимо выполнение байпаса

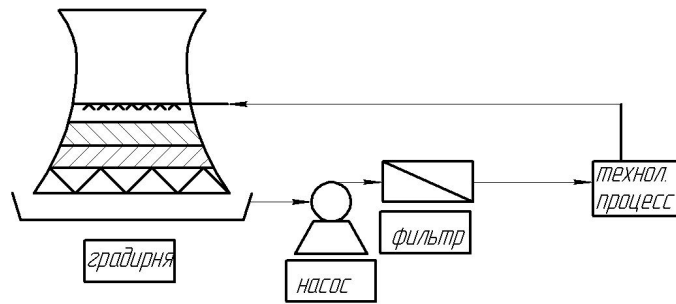


Рис. 1. Схема полноточной системы фильтрации

для обеспечения постоянства потока. При этом по байпасному потоку пропускается только часть общего расхода воды.

Степень очистки воды определяется специфическими требованиями системы. Так, например, сопла насадок должны быть полностью защищены от крупных взвешенных частиц. Есть вероятность, что отверстия насадки может достичь сразу несколько частиц, при этом одна частица может пройти свободно, поэтому диаметр взвешенных частиц должен быть в пределах  $1/5 - 1/3$  диаметра отверстий сопел.

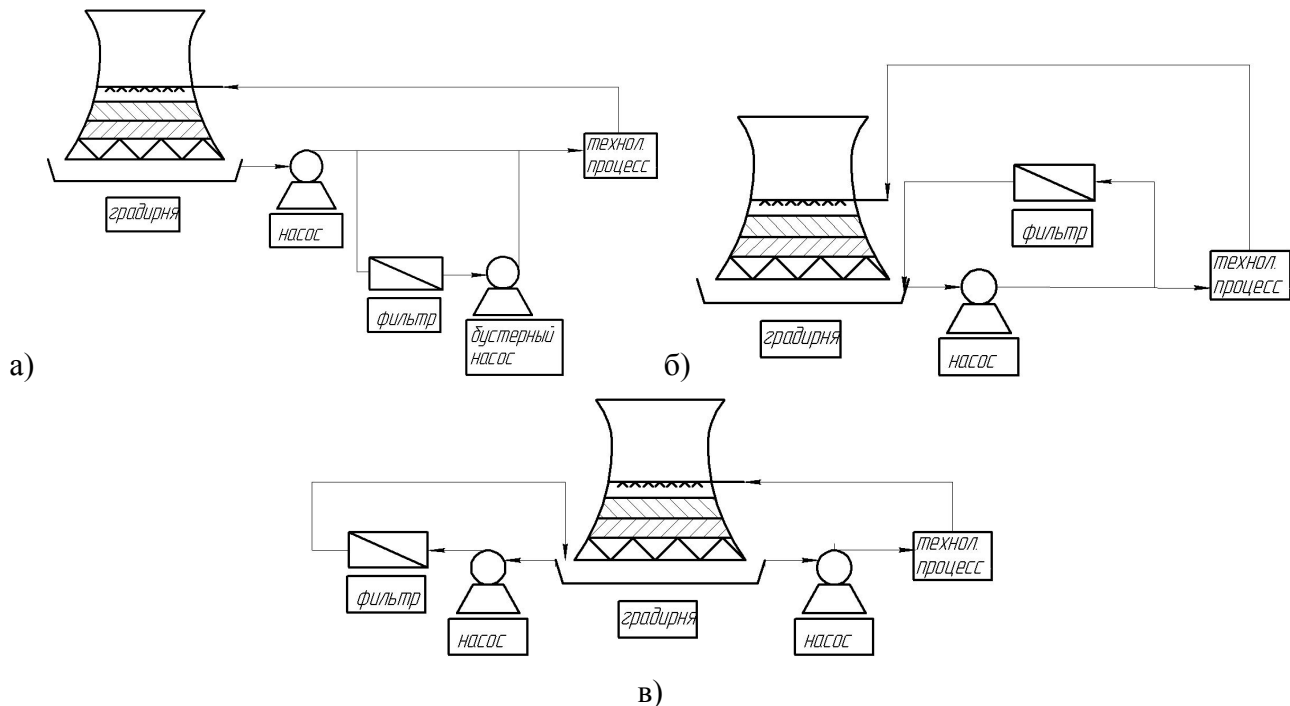


Рис. 2. Схемы очистки циркуляционной воды:

а — схема байпасной очистки с бустерными насосами; б — схема байпасной очистки с включением фильтров после выдачи циркуляционных насосов и сбросом в чашу градирни; в — схема байпасной очистки с использованием специальных насосов системы очистки воды

Органические вещества могут быть клейкими и оседать на краях отверстий, поэтому для обеспечения необходимой эффективности работы охлаждающей системы распределительные устройства (сопла) должны иметь отверстия в 8–10 раз больше, чем диаметр частиц.

По сравнению с очисткой воды в циклонах (постоянное рабочее давление), очистка воды при помощи тканевых фильтров требует постепенного увеличения рабочего давления по мере загрязнения фильтрующей поверхности. Когда падение давления на фильтре достигает порогового значения, фильтрующий аппарат останавливается, открывается и загрязнённый фильтрующий элемент фильтра заменяется на новый. Перепад давления на фильтре мо-

жет колебаться в пределах 0,14 – 2 бар. Замена фильтрующих элементов осуществляется также для предотвращения разрыва фильтра во время фильтрации. Рукавные фильтры наиболее эффективны при удалении частиц размером 5 – 200 мкм. Очистка на рукавных фильтрах характеризуется малыми потерями воды.

Трёхмерные картриджные фильтры увеличивают рабочую поверхность фильтрации и позволяют на равной по площади поверхности разместить больше фильтров, по сравнению с рукавными. Картриджные фильтры используются, когда требуется удалить частички размером 0,5 – 50 мкм. Падение давления на картридже может находиться в пределах 0,35 – 3,4 бар. Как и тканевые, картриджные фильтры требуют периодической замены. Замена как тканевых, так и картрижных фильтров осуществляется вручную.

Песчаные фильтры не требуют замены насадки, т.к. её можно чистить и использовать повторно. Когда задержанные твёрдые частички вызывают заметное падение давления на фильтре, для поддержания определённого расхода потока, направление движения последнего меняется на противоположное. Это осуществляется для увеличения объёма загрузки и отделения частичек ила. Отмывочная вода спускается в дренаж. После отмывки поток пускается в первоначальном направлении. Данный тип фильтров требует дополнительного внешнего источника чистой воды для отмывки. Отмывка обратным потоком приводит в движение загрузку, при этом частицы песка истирают друг друга, следовательно, уменьшается их удерживающая способность по отношению к органическим твёрдым частицам.

При использовании однослойных фильтрующих загрузок (антрацит или кварцевый песок) в процессе отмывки их от загрязнений путем взрыхления (подаче воды обратным током) частицы фильтрующей среды распределяются по высоте слоя следующим образом. Так как все частицы имеют примерно одинаковую плотность, самые крупные частицы являются наиболее тяжелыми и располагаются внизу, а самые мелкие — наиболее легкие располагаются сверху. При этом процесс фильтрации происходит в основном в верхнем участке фильтрующего слоя и грязеемкость фильтрующей загрузки используется весьма неудовлетворительно.

В мультимедийных загрузках используются фильтрующие материалы различной плотности, например: антрацит, песок и гравий [3].

Антрацитовая крошка имеет самые большие размеры и наименьшую плотность. Частицы антрацита после взрыхления оседают в верхней части фильтрующего слоя. Благодаря этому при фильтрации в верхней части слоя задерживаются самые крупные частицы взвешенных веществ.

Песок имеет промежуточные размер и плотность. После взрыхления он оседает в средней части слоя. Мелкие частицы взвешенных веществ "проскакивают" через этот слой на гравийную загрузку.

При использовании мультимедийных загрузок грязеемкость на единицу объема загрузки существенно увеличивается по сравнению с использованием монослоев.

Существуют некоторые виды песчаных фильтров, в которых непрерывно используется процесс отмывки. При этом значительно увеличивается расход воды и реагентов, поэтому эксплуатация таких фильтров сопряжена с дополнительными затратами по сравнению с традиционными песчаными фильтрами.

Перепад давления на песчаных фильтрах может составлять 0,7 – 1,4 бар.

Задержанные фильтром частицы, удельный вес которых больше удельного веса загрузки ( $2,6 \text{ г/см}^3$  для песка) и диаметром, приблизительно равным диаметру гранул песка, постепенно накапливаются в фильтре, поэтому требуется периодическая очистка загрузки. Эти фильтры очень эффективны для удаления лёгких органических соединений из охлаждаемой воды. По мере прохождения потока через песок (0,4 – 0,6 м), частички загрязнений задерживаются в фильтрующей загрузке за счёт ситового эффекта, когда они слишком большие, чтобы пройти между гранулами песка, и за счёт адгезии на поверхности частиц песка.

Степень очистки на песчаном фильтре зависит от типа и гранулометрического состава песка. Песчаная загрузка эффективна при очистке воды от частиц, размер которых превышает 5 *мкм*. Наиболее эффективно использование песчаных фильтров при размере частиц 10 – 40 *мкм*.

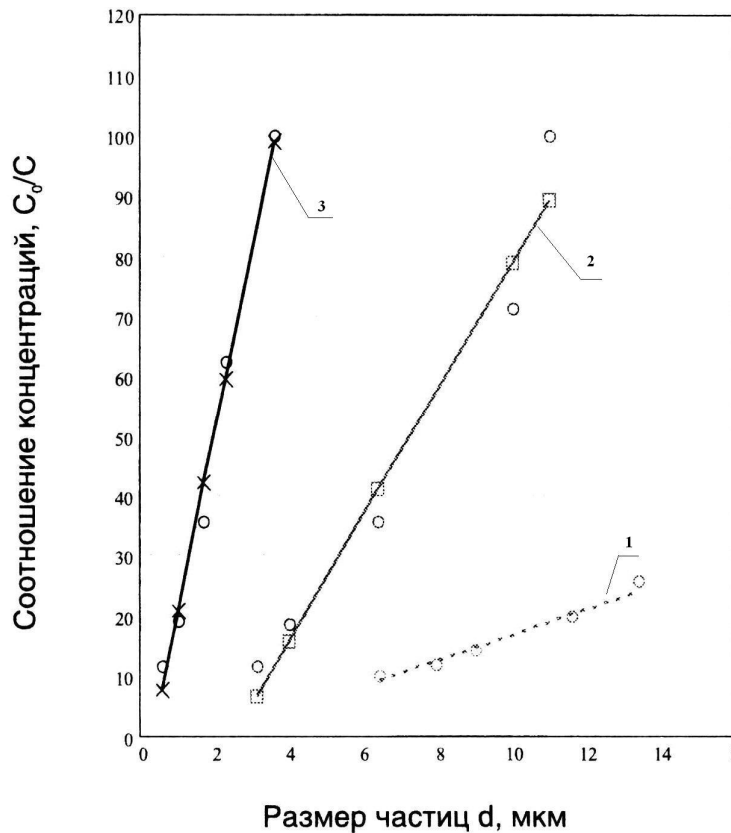


Рис. 3. Зависимость концентрации загрязнений от размера частиц:  
1 — однослойная загрузка; 2 — двухслойная загрузка; 3 — трехслойная загрузка

Рассмотрим решёточные конструкции.

Данный тип фильтров содержит перфорированные элементы с размером отверстий 3000 *мкм* и больше и способен задерживать только крупные частицы. Внедрение таких фильтров не требует больших капиталовложений, но на обслуживание необходимы значительные текущие затраты. Многие производители изготавливают сеточные фильтры, встроенные в трубопровод. Эти фильтры состоят из цилиндрических сеточных элементов со степенью фильтрации вплоть до 80–100 *мкм*.

На протяжении последних двух – трёх десятилетий на предприятиях металлургической и химической промышленности начали широко использовать автоматические самоочищаемые фильтры для очистки воды от взвешенных веществ. Технология очистки в них более совершенна по сравнению с циклонной сепарацией и песчаными фильтрами.

Сеточная фильтрация обеспечивает большую полезную поверхность и эффективное удаление частиц размером до 10 *мкм*. Использование двумерных дискретных размеров отверстий позволяет улавливать частицы отличающиеся только по размерам, при этом на степень удаления загрязнений не влияют другие характеристики, такие как плотность, форма или пластичность частиц. Поэтому сеточные фильтры являются одними из наиболее надёжных с точки зрения предотвращения закупоривания отверстий полнопоточной фильтрации.

Автоматические самоочищаемые фильтры с одинаковой эффективностью удаляют как органические, так и неорганические вещества. Падение давления на фильтре колеблется в пределах  $0,07 - 0,14$  бар и достигает  $0,5$  бар перед автоматической чисткой.

Фильтр остаётся в рабочем положении во время противоточной чистки, длительность которой составляет менее 40 сек. Общий объём воды для чистки очень мал и составляет 1 % от расхода потока. Этот объём воды действует как продувка для системы, обеспечивая поддержание концентрации взвешенных частиц в циркуляционной системе в пределах нормы. Во время промывки поступающая на очистку загрязнённая вода попадает в фильтр через впускное отверстие тела фильтра, как показано на рисунке 4.

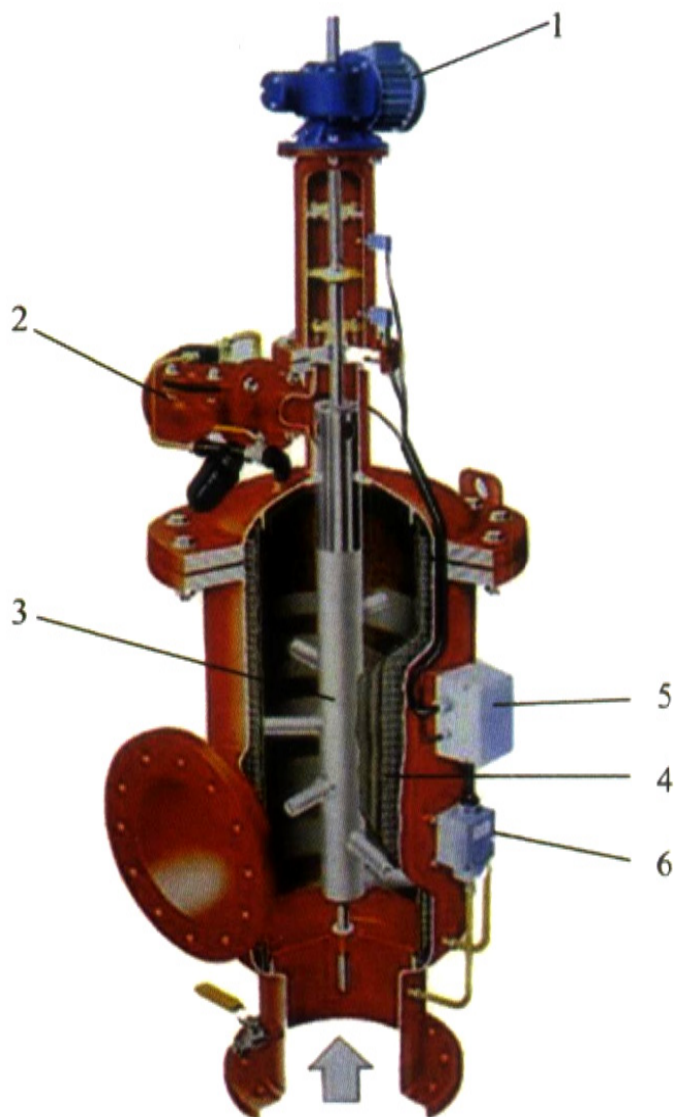


Рис. 4. Сеточный фильтр:

1 — привод; 2 — сбросный клапан; 3 — сканирующий всас; 4 — сеточный фильтровальный элемент; 5 — блок управления; 6 — измеритель перепада давления

Затем вода проходит через многослойную цилиндрическую проволочную сетку из нержавеющей стали, при этом частицы, размер которых больше размера пор, оседают на внутренней поверхности.

Когда перепад давления на фильтре достигнет  $0,5$  бар, фильтр переключается в режим чистки (отмывки). В течение отмывки фильтрация не прерывается.

Работа и отмывка фильтра контролируется программируемым логическим устройством. В течение цикла отмывки устройство типа сканирующего отсоса вращается, а спиральные пазы на его приводном валу обеспечивают линейное движение и вращение внутри цилиндрической фильтрующей сетки.

Выпускной клапан открывает соединение внутренней части сканирующего отсоса с атмосферой. Сопло отсоса от центральной трубки сканирующего отсоса расположено на расстоянии нескольких миллиметров от поверхности сетки. За счет дифференциального давления между водой внутри фильтра (2,4 – 10,2 *бар*) и атмосферой (0 *бар*) снаружи фильтра создается высокая всасывающая сила на входе каждой из насадок сканирующего отсоса. Эта всасывающая сила заставляет воду течь обратно через экран со скоростью приблизительно 15 м/с в маленьком пространстве каждой насадки, удаляя взвешенные частички с поверхности сетки. Затем электрический привод вращает сканирующий отсос медленно со скоростью около 24 оборотов в минуту, пока его одновременное движение не будет осуществляться с одинаковой скоростью. Комбинирование вращения и линейного движения сообщает каждой насадке спиральное перемещение по внутренней поверхности экрана фильтра. В зависимости от модели фильтра отмывочный цикл длится 10 – 40 с. В течение этого времени с насадок удаляются захваченные взвешенные частицы извне от экрана фильтра.

### **Выводы**

1. Рассмотрены перспективные технологии очистки воды для оборотных систем, оборудованных градирнями.
2. Полностью автоматизированные самоочищаемые сеточные фильтры являются экономически выгодным решением для очистки от взвешенных веществ размером до 10 мкм воды для градирни.
3. Использование клинообразных сеток в качестве фильтрующих элементов обеспечивает повышение качества фильтрации, исключая все частицы, размер которых больше, чем степень фильтрации сеток охладительной системы.
4. Эффективный принцип сканирующего отсоса позволяет удалять фильтруемые осадки с поверхности экрана за секунды без физического касания плит или экрана. В течение сканирующего отсоса отмывочного цикла процесс фильтрации не прерывается, таким образом, фильтр постоянно обеспечивается фильтруемой водой, исключая необходимость в дублирующих системах.
5. При использовании сеточных фильтров потери воды и реагентов сведены до минимума. Органические и неорганические вещества удаляются с одинаковой эффективностью.

### **Список литературы**

1. Общая химическая технология и основы промышленной экологии / В.И. Ксензенко, И.М. Кувшинников, В.С. Скоробогатов и др. / Под ред. В.И. Ксензенко. — М.: КолосС, 2003. — 328 с.
2. Amiad Filtration Systems. Cover story. Cooling towers: how to keep particulates at bay // Filtration and separation. — 2006. — July/August — p. 18–22.
3. Высоцкий С.П., Салашенко И.Г. Перспективы использования мультимедийных фильтров // Матеріали 3 Міжнародного водного форуму «Аква Україна — 2005». — К., 2005. — С. 102 – 104.
4. Кульский Л.А., Гороновский И.Т., Когановский А.М., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды в двух частях. Часть 2. — К.: Наукова думка, 1980. — 1206 с.

Стаття надійшла до редакції 24.09.08  
© Высоцкий С.П., Тужанская Е.В., 2008