

ОСОБЕННОСТЬ СЕПАРАЦИИ и КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕНИЯ каплеотбойных устройств ГРАДИРЕН

Системы промышленного водоснабжения обеспечивают подачу воды на производство в требуемых количествах и соответствующего качества. Охлаждение оборотной воды, чаще всего, производится в градирнях при непосредственном контакте жидкости с воздухом. Одним из основных негативных факторов при работе градирен является капельный унос жидкости, в которой могут находиться различные химические соединения. Для снижения потерь оборотной воды используются каплеотбойники. В данной статье рассмотрены особенности сепарации в градирнях, а также представлены основные виды конструкций сепарационных насадок, используемых в промышленности.

Введение

В современной промышленности при непрерывно растущем темпе производств важную роль играет соблюдение и поддержание на необходимом уровне параметров технологического процесса. Одним из определяющих факторов любой действующей технологии является температура [1].

Универсальным механизмом для управления, регулирования и контроля температуры служат системы оборотного водоснабжения.

Потребности народного хозяйства, а особенно химической промышленности, в водных ресурсах не дают возможности использования свежей воды, поэтому с целью рационального использования водных ресурсов на промышленных предприятиях функционируют автономные, замкнутые системы водоснабжения. Водное охлаждение основного и вспомогательного оборудования на сегодняшний день наиболее экономически целесообразно. В свою очередь, оборотная вода, прошедшая технологический цикл,

охлаждается до необходимых температур в аппаратах воздушного охлаждения или путем испарения ее части в башенных и вентиляторных градирнях.

Одним из негативных факторов при работе градирен является капельный унос оборотной воды, в которой находятся различные химические соединения, характерные для специфики производства, например, ионы тяжелых металлов, детергенты, пестициды, биогенные элементы, токсические химические соединения, фенолы, нефтепродукты, хлорорганика и многое другое. Величина капельного уноса градирен регламентируется СНиП и определяется как потеря воды вследствие уноса ветром (в башенных градирнях) и нагнетания вентилятором воздушного потока (в вентиляторных градирнях). Величина допустимого СНиП уноса зависит от вида охладителя и уровня вредности (токсичности) воды. Для градирен с водоуловителями эта величина составляет 0,05-0,2% [2]. Но не редко, что даже на химических предприятиях градирни вовсе не оборудованы каплеуловителями или установлены малоэффективные конструкции, а ввиду того, что основная часть градирен проектировалась в середине прошлого столетия, когда экологические вопросы просто не учитывались, их основные составляющие приспособления и устройства морально устарели и не отвечают современным требованиям. Вследствие этого, капельный унос может составлять 5-7%, что приводит к значительному ухудшению экологической ситуации промышленных и прилегающих к ним районов. При этом увеличивается подпитка водооборотной системы из природных источников. Таким образом, снижение капельного уноса в системах испарительного охлаждения оборотной воды важно не только с экологической, но и экономической точки зрения.

В.Г. Афанасенко*,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», ГОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной университет

Е.В. Боев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», ГОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной университет

*Адрес для корреспонденции: awirus@rambler.ru

1. Сепарационные насадки систем испарительного охлаждения оборотной воды

1.1. Общие сведения о сепарационных насадках

Разделение любых неоднородных (гетерогенных) газовых смесей можно производить с помощью мокрой очистки, фильтрования и различных видов осаждения. Из перечисленных видов очистки наиболее простой и экономичный способ, реализуемый, в том числе, с помощью сепарационных насадок — осаждение. Осаждение — это процесс разделения, при котором дисперсные твердые и жидкие частицы отделяются от сплошной газовой фазы за счет большей плотности (по сравнению с газом), под действием гравитационных, инерционных или центробежных сил [3].

Сущность очистки неоднородной газовой смеси от капельной жидкости заключается в отделении гетерогенных примесей, укрупнении их на улавливающих поверхностях и выводе из сепарационного устройства. Исходя из этого, повышение эффективности процесса улавливания жидкой фазы обеспечивается за счет:

- уменьшения расстояния до рабочей поверхности уловителя, на которую осаждается дисперсная среда (т.е. уменьшения расстояния между его элементами), но такой способ повышения эффективности приводит к росту сопротивления насадки и увеличению материалоемкости конструкции;
- увеличения времени осаждения, что чаще всего осуществляется за счет увеличения габаритных размеров улавливающего устройства;
- увеличения скорости осаждения введением дополнительных сепарационных сил, таких как центробежные или инерционные.

Первые два способа повышения эффективности разделения неоднородных систем имеют сложность конструктивного исполнения, поэтому рассмотрим третий способ.

Скорость осаждения (витания) жидкости под действием гравитационных сил [4]:

$$u_{\text{вит}} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d \cdot (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}})}{3 \cdot \zeta \cdot \rho_{\text{г}}}}, (1.1)$$

где g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

d — характерный размер частицы дисперсной фазы, м ;

$\rho_{\text{ж}}, \rho_{\text{г}}$ — плотности жидкости и газа, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ζ — коэффициент сопротивления среды.

При заданных условиях (тип жидкой и газовой фазы, размер улавливаемых капель) крайне трудно, а порой невозможно влиять на плотность газов и жидкостей, размер их капель и сопротивление среды, поэтому скорость осаждения можно увеличить за счет введения дополнительных движущих сил.

Е.А. Николаев,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной университет»

1.2. Особенности сепарации в системах испарительного охлаждения оборотной воды

Практически на всех предприятиях газовой и нефтехимической промышленности охлаждение основного и вспомогательного технологического оборудования осуществляется при помощи систем оборотного водоснабжения, оборудованных градирнями. При этом работающая градирня выбрасывает в атмосферу воздух, насыщенный водяными парами, которые содержат различные химические соединения, характерные для специфики производства, что негативно сказывается на экологии промышленных и прилегающих к ним районов. Помимо этого, предприятию приходится осуществлять подпитку водооборотных систем из природных источников. Поэтому разработка эффективных улавливающих устройств для градирен важна не только с экологической, но и с экономической точки зрения.

Сепарационные насадки, которые можно использовать в системах испарительного охлаждения оборотной воды (называемые водо- или каплеуловителями), должны обеспечивать эффективное разделение неоднородных газовых смесей и обладать низким аэродинамическим сопротивлением. К особенностям водоулавливания можно отнести также и то, что очищаемый газ в градирнях, как правило, плоскопараллельным потоком движется снизу вверх, жидкость не агрессивна, а рабочая температура меняется в зависимости от времени года.

Как отмечалось ранее, повышение эффективности сепарации обеспечивается путем введения дополнительных сил, таких как гравитационная, инерционная или центробежная. Рассмотрим пути реализации подобных способов интенсификации разделения неоднородных смесей в процессе водоулавливания.

Гравитационная сила всегда направлена вертикально вниз и является постоянной величиной для любой произвольно взятой частицы. Так как поток очищаемого воздуха в градирне, как правило, движется вертикально вверх, а также из-за низкой производительности данного способа очистки, каплеуловители, в которых для удаления жидкости используется только гравитационная сила, не нашли широкого применения в промышленности.

Инерционные силы возникают в потоке газа при изменении направления его движения. Изменение направления вектора скорости потока достигается различными конструктивными особенностями устройств очистки газов и приводит к росту аэродинамического сопротивления насадки, поэтому основной задачей при разработке подобных устройств является

поиск оптимального соотношения эффективности очистки и аэродинамического сопротивления.

Центробежные силы возникают при закрученном движении потока и зависят от интенсивности закрутки парогазовой смеси, а также радиуса вращения рассматриваемой частицы. Такой способ сепарации наиболее эффективен, но устройства для его осуществления в условиях работы градирен наиболее сложны и, соответственно, дороги [5].

Таким образом, сепарационные насадки для использования в системах испарительного охлаждения оборотной воды обладают рядом особенностей, которые необходимо учитывать при разработке новых конструкций уловителей.

1.3. Классификация водоуловителей

На основе анализа современной технической литературы и патентной проработки по данной тематике можно заключить, что основной силой при разделении газожидкостного потока в системах испарительного охлаждения оборотной воды является инерционная. Это объясняется тем, что конструкции насадок таких типов наиболее просты в изготовлении, монтаже и обслуживании.

Принцип инерционной очистки основан на использовании инерционных сил, возникающих при резком изменении направления движения газового потока, при котором частицы гетерогенных примесей, стремясь сохранить направление своего первоначального движения, удаляются из потока.

Сепарационные насадки, применяемые в качестве водоуловителей градирен, имеют ряд особенностей. При проектировании необходимо учитывать следующие факторы:

- очищаемый поток воздуха движется вверх вертикальным плоскопараллельным потоком;
- высота насадки должна быть минимальной;
- сепарационная насадка должна обладать низким аэродинамическим сопротивлением.

Исходя из этих особенностей, инерционные сепарационные насадки градирен конструктивно можно разделить на следующие группы:

1) Каплеотбойники с разворотом потока — это устройства, у которых в процессе движения парогазового потока через насадку вектор скорости отклоняется от исходного направления на угол 90° и более. Такие насадки обычно обладают высоким аэродинамическим сопротивлением, при этом степень каплеулавливания наибольшая.

2) Каплеотбойники без разворота потока — это устройства, у которых в процессе движения парогазового потока через насадку вектор скорости отклоняется от исходного направления менее чем на 90° .

Конструктивно инерционные каплеуловители градирен этой группы чаще всего представляют собой вертикальные листы криволинейного профиля, расположенные на одинаковом расстоянии параллельно друг другу. Такие насадки получили наибольшее распространение в связи с возможностью регулирования их рабочих характеристик в широком диапазоне, а также благодаря разнообразию применяемых для их изготовления конструкционных материалов.

3) Сетчатые сепарационные насадки представляют собой слой тонких волокон, трехмерно переплетенных между собой. Данные насадки легко изготавливаются и монтируются, но расчет их эксплуатационных параметров затруднен в связи со сложностью и разнообразием расположения отдельных волокон, поэтому для подбора оптимальной высоты насадки пользуются эмпирическими зависимостями.

Кроме инерционной силы разделения в процессе водоулавливания можно использовать и центробежные силы. Закрученное движение потока, необходимое для создания поля действия центробежных сил, при этом образуется с помощью различных аксиальных механических устройств, из которых наиболее применимыми являются аксиально-лопаточное, шнековое и ленточное [6].

Каплеуловители данного типа наряду с сепарационными насадками можно выделить в отдельную группу, характеризуемую тем, что основной силой разделения в них является центробежная.

Другим способом классифицирования сепарационных насадок является деление на группы в зависимости от материала изготовления основных элементов. По такой системе насадки можно разделить на:

- асбестоцементные;
- деревянные;
- полимерные;
- металлические.

В настоящее время наметилась тенденция к замене асбестоцементных и деревянных каплеуловителей градирни на конструкции из полимерных и металлических материалов, т.к. такие материалы имеют ряд преимуществ, к числу которых следует отнести больший срок службы, возможность изготовления элементов сложного профиля и т.д.

Из полимерных материалов наиболее широко применяется полиэтилен низкого давления (ПЭНД), поливинилхлорид (ПВХ) и др. виды термопластов. Из металлических материалов наибольшее распространение из-за своей легкости и высокой теплопроводности получил алюминий.

2. Показатели эффективности сепарационных насадок градирен

Сходство конструктивных особенностей и принципов работы каплеотбойников, пылеуловителей и пылеуловителей позволяет определять основные характеристики каплеуловителей по аналогии с аппаратами пылеулавливания [7].

К основным техническим характеристикам относятся:

- ♦ эффективность (степень) отделения воздуха от капель воды, которую также можно называть коэффициентом полезного действия каплеуловителя;

- ♦ аэродинамическое сопротивление.

Кроме того, важным фактором для оценки каплеуловителей являются экономические характеристики насадки, учитывающие стоимость изготовления, монтажа, обслуживания, срок службы насадки и т.д..

2.1. Эффективность каплеулавливания

Эффективность (степень) каплеулавливания — важнейшая характеристика каплеотбойника, на которую ориентируются при выборе сепарационных насадок промышленных градирен.

При оценке эффективности работы каплеуловителей принимают во внимание:

- ♦ общую эффективность водоулавливания, т.е. количество воды, уловленной в уловителе, по отношению к количеству воды, содержащейся в парожидкостном потоке перед данным устройством;

- ♦ фракционную эффективность, определяющую полноту улавливания капель воды определенных размеров, которую выражают в процентном соотношении отделенных в каплеуловителе дисперсных частиц жидкости определенных размеров;

- ♦ остаточное содержание капель жидкости в потоке воздуха при выходе его из каплеуловителя;

- ♦ распределение остатка капель жидкости в воздухе по размеру частиц или скорости витания.

Основным показателем, характеризующим работу каплеуловителей, является коэффициент (степень) улавливания, %:

$$\varepsilon = \frac{M_{ул}}{M_{ex}} \cdot 100 = \frac{M_{ex} - M_{вых}}{M_{ex}} \cdot 100 = \frac{M_{ул}}{M_{ул} + M_{вых}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

где $M_{вх}$, $M_{ул}$ и $M_{вых}$ — масса капель воды, содержащихся в воздухе на входе в каплеуловитель (т.е. до очистки), уловленных в каплеотбойнике и на выходе из него после очистки, соответственно.

2.2 Сопротивление каплеуловителей градири

Расчет коэффициента аэродинамического сопротивления сухих насадочных устройств, в том числе и сепарационных насадок градирен, производится по формуле Вейсбаха:

$$\zeta_n = \frac{2g \cdot \Delta P}{\omega_2^2 \cdot \rho_v} \quad (2.10)$$

где g — ускорение силы тяжести, м/с²;

ΔP — потери напора, мм вод. ст;

ω_2 — скорость воздушного потока, м/с;

ρ_v — плотность наружного воздуха, кг/м³.

Для простоты сравнения сопротивления различных типов сепарационных насадок в качестве характеристики часто используют удельный коэффициент аэродинамического сопротивления, т.е. значение коэффициента отнесенного в высоту насадки, что позволяет при оценке сопротивления учитывать также и геометрические параметры каплеотбойника.

3. Обзор разработок и патентов каплеуловителей градирен

3.1. Инерционные каплеотбойники без разворота потока

Каплеотбойники данной группы в большинстве своем представляют насадку из параллельных листов криволинейного профиля. Так, каплеуловитель градири [8] содержит пакет пластин 1 Y-образного профиля, имеющих вертикальные входной и выходной участки 2, 3 и наклоненный под углом 60° к горизонтали прямолинейный участок 4. Пластины 1 соединены между собой посредством установленных в отверстиях пластин стержней 5. На стержнях между пластинами 1 размещены дистанцирующие втулки 6. Стержни 5 и втулки 6 могут быть выполнены в виде шестигранника. Высота H_1 входного участка 2 составляет 50÷59 мм, а высота H_2 выходного участка 5-75÷81 мм. Кромки 7, 8 участков 2 и 3 выполнены криволинейными (по дуге окружности с радиусом кривизны, соответствующим радиусу места размещения пакетов в цилиндрической градири) и эквидистатными. Пакеты водоуловителя устанавливаются в корпусе градири, по концентрическим окружностям.

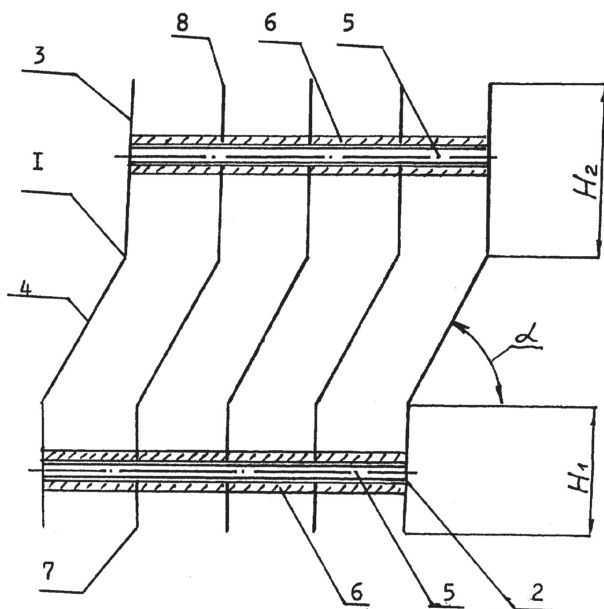


Рис. 1. Пакет пластин каплеуловителя.

1 — пластина; 2, 3 — вертикальные входной и выходной участки;
4 — наклонный прямолинейный участок; 5 — стержни; 6 —
дистанцирующие втулки; 7, 8 — кромки пакета.

Пакеты могут быть размещены в несколько ярусов (рис. 1).

Выполнение пакетов с криволинейными кромками 7, 8 при размещении их в градирне позволяет исключить возможность их вертикальной усадки под воздействием высоких температур в процессе эксплуатации. Листы 1, стержни 5 и втулки 6 изготовлены из полимерного материала. Собранный пакет фиксируется с помощью сварки торцов стержней 5 с участками 2 и 3. Радиус кривизны кромок 7, 8 и пакетов в целом зависит от места размещения их в градирне и от типов градирен и может находиться в диапазоне 5÷19 м.

Представленный каплеуловитель работает следующим образом.

Воздушный поток, содержащий капли влаги, поступает в пакет пластин 1, в криволинейные каналы, образованные участками 2, 4, 3 со стороны входного участка 2. В криволинейных каналах происходит осаждение капель влаги на поверхностях участков 2, 4, 3. Образовавшаяся пленка стекает по указанным поверхностям вертикальными потоками вниз. Эффективность водоулавливания и величину аэродинамического сопротивления можно регулировать с помощью высот участков 2, 3 (соответственно, H_1 , H_2) и угла наклона участка 4. Выполнение пакетов с криволинейными кромками участков пластин позволяет обеспечить высокую технологичность сборки водоуловителя, а размещение пакетов по концентрическим окружностям создает равно-

мерное поле аэродинамического сопротивления по всему поперечному сечению градирни.

Водоуловитель градирни [9] содержит решетку профильных пластин, имеющих входной, центральный и выходной вертикальные участки 1, 2, 3 соответственно. Пластины выполнены также с наклонными участками — нижним участком 4 и верхним участком 5. Выходной участок 3 выполнен с длиной, большей длины участка 1, например, в два и более раз. Пластины имеют выполненные с входным и выходным участками 1 и 3, соответственно, трубки 6 и 7, являющиеся при сборке водоуловителя дистанционирующими элементами. Трубки 6, 7 смежных пластин устанавливают соосно, в отверстиях трубок и участков 1, 3 размещают стяжной болт (на чертеже не показан) при сборке влагоуловителя. Пластины решетки дополнительно снабжены наклонными ребрами жесткости 8, 9, выполненными на внешних поверхностях участков 4, 5 и примыкающими к центральному участку 2 и трубкам 6, 7, соответственно. Пластины снабжены также вертикальными ребрами 10, размещенными между внутренними поверхностями участков 4, 5.

Ребра 10 примыкают к центральным участкам 2 смежных пластин, что дополнительно увеличивает жесткость водоуловителя.

Нижние наклонные участки 4 выполнены под углом не менее 45° к вертикали, с образованием между участками 4 входных наклонных каналов 11. Между участками 2 смежных пластин образован вертикальный канал 12. Верхние наклонные участки 5 выполнены под углом не более 30° к вертикали с образованием выходных наклонных каналов 13. Длина нижних участков 4 вдвое меньше длины верхних участков 5 и, таким образом, длина каналов 11 меньше длины каналов 13 (рис. 2).

Водоуловитель градирен работает следующим образом.

Воздушный поток поступает из градирен во входной канал 11, где благодаря оптимальному углу наклона происходит интенсивная коагуляция влаги, образование пленки воды и отвод ее по стенкам канала в градирню. Далее поток влажного воздуха поступает в прямой канал 12 и наклонный под оптимальным углом к вертикали канал 13, где происходит стабилизация потока воздуха, что приводит к снижению аэродинамического сопротивления.

Наличие ребер 8, 9 и 10 позволяет реализовать жесткую конструкцию насадки, что улучшает эксплуатационные характеристики и ресурс устройства.

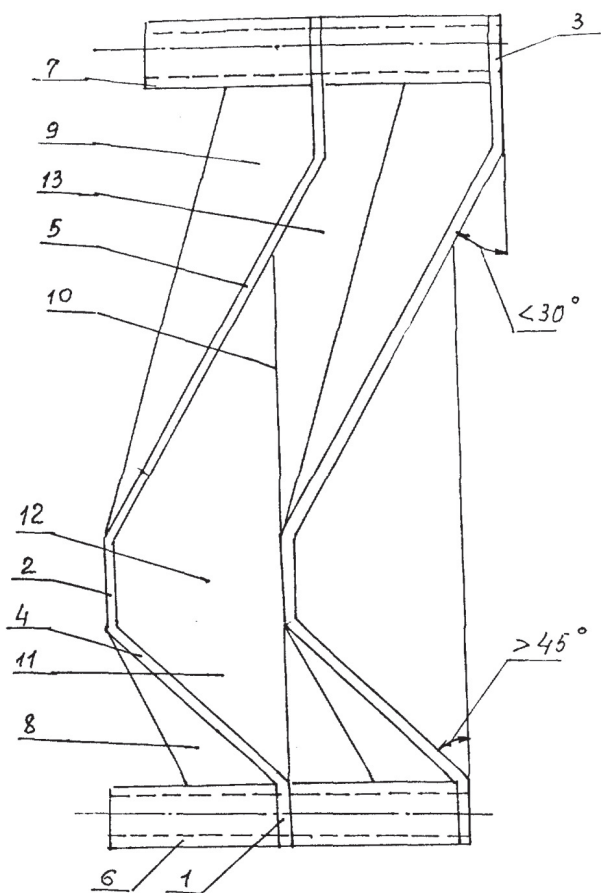


Рис. 2. Фрагмент общего вида водоуловителя.
1, 2, 3 — соответственно, входной, центральный и выходной вертикальный участок; 4, 5 — наклонные нижний и верхний участки; 6, 7 — дистанционирующие элементы; 8, 9 — наклонные ребра жесткости; 10 — вертикальные ребра жесткости; 11, 12, 13 — каналы водоуловителя

Другим уловителем данной группы является каплеотбойник [10], который содержит решетку вертикально установленных пластин 1 U-образного профиля, снабженных прямолинейными крайними участками 2 и 3, двумя криволинейными участками 4, 5, двумя прямолинейными равновеликими, наклоненными к вертикали средними участками 6, 7. Последние сопряжены между собой центральным криволинейным участком 8. Крайние участки 2, 3 наклонены к вертикали под углом, меньшим угла наклона средних участков 6, 7. Размещенные между смежными крайними и средними участками 2, 3 и 6, 7, соответственно, криволинейные участки 4, 5 выполнены с радиусом кривизны, равным радиусу кривизны центрального участка 8. Каждая пластина 1 выполнена шириной, составляющей $0,3 \div 0,5$ от ее высоты (рис. 3).

Решетку сепарационной насадки собирают из пластин 1 на стержнях 9 с помощью дистанционирующих втулок 10 с образованием криволинейных каналов 11.

Устройство работает следующим образом. Поток влажного воздуха поступает снизу в каналы 11, плавно поворачивается в условиях уменьшения проходного сечения каналов на участке между наклонными средними участками 6 пластин 1, затем при дальнейшем повороте скорость потока резко падает, т.к. проходное сечение каналов увеличивается между центральными участками 8 пластин 1. При этом при разгоне и повороте потока воздуха происходит сначала укрупнение, коагуляция капель воды, их отделение под действием центробежных сил, а затем гравитационная сепарация влаги. При дальнейшем движении влажного воздуха к выходному участку каналов 11 происходит окончательная осушка воздуха при аналогичных процессах влагоотделения. Осажденная влага на стенках пластин 1 стекает вниз в виде пленки.

Следующее каплеотбойное устройство градирни [11], относящееся к данной группе, содержит решетку вертикальных пластин 1, 2 криволинейного профиля. Пластины 1, 2 установлены на крепежных средствах, выполненных в виде стержней 3, 4. Пластины 1, 2 имеют выполненные на верхних и нижних частях 5, 6 отверстия, через которые пропускают стержни 3, 4. На стержнях 3, 4 установлены дистанционирующие элементы 7 между верхними и нижними концами 5, 6 пластин 1, 2. Водоуловитель выполнен из отдельных секций 8, 9 пластин 1, 2, соответственно, содержащих равное количество пластин в каждой секции. При этом пластины 1, 2 в смежных секциях 8, 9 установлены зеркально. Согласно одному варианту выполнения водоуловителя в срединной части секций 8, 9 (решетки) концевые пластины установлены с

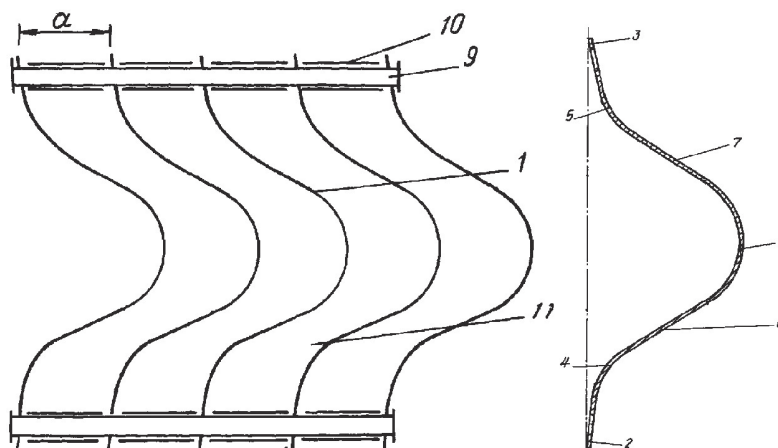


Рис. 3. Общий вид решетки каплеуловителя градирни.
1 — пластина; 2, 3 — крайние прямолинейные участки; 4, 5 — криволинейные участки; 6, 7 — средние участки; 8 — центральный криволинейный участок; 9 — стержни; 10 — дистанционирующие втулки; 11 — криволинейные каналы

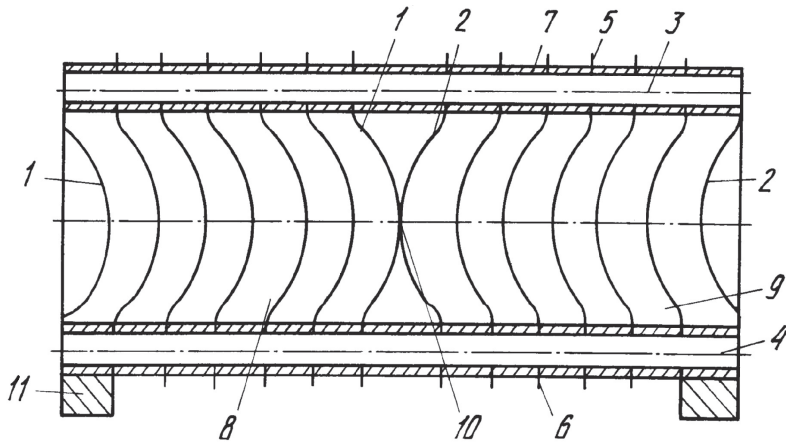


Рис. 4. Общий вид каплеотбойника.

1, 2 — вертикальные пластины криволинейного профиля; 3, 4 — стержни; 5, 6 — отверстия в пластинах; 7 — дистанционирующие элементы; 8, 9 — секции каплеуловителя; 10 — примыкание пластин; 11 — опорные балки

примыканием друг к другу выпуклых частей 10. По другому варианту концевые пластины 1, 2 в смежных секциях 8, 9 в срединной части решетки обращены друг к другу вогнутыми частями профиля. При этом верхние и нижние концы 5, 6 упомянутых пластин установлены на стержнях 3, 4 с примыканием друг к другу. Секции 8, 9 установлены в градирне на балках 11. Кроме того, уловитель может быть выполнен из установленных последовательно чередующихся секций 8, 9 (рис. 4).

Выполнение уловителя из секций 8 или 9 с примыканием пластин 1, 2 друг к другу со срединной части решетки позволяет повысить жесткость конструкции без установки дополнительных балок 11 и уменьшить прогиб решетки, что имеет место в реальных условиях эксплуатации каплеуловителей, используемых в настоящее время. Прогиб решетки приводит к изменению профиля каналов между пластинами 1, 2. Такая конструкция позволяет обеспечить равномерность скорости потока восходящего влажного воздуха в решетке уловителя, исключить срывные явления стекающей пленки уловленной влаги и повысить жесткость конструкции сепарационной насадки.

3.2. Инерционные каплеотбойники с разворотом потока

Каплеуловитель для градирни [12] содержит желоба 1 и 2 криволинейного профиля, размещенные на каркасе 3 в два ряда — нижнего и верхнего. Желоба 2 нижнего ряда установлены днищами вниз. Желоба 1 верхнего ряда установлены днищами вверх, причем желоба 2 нижнего ряда установлены с перекрытием расстояния

между желобами 1 верхнего ряда. В днищах желобов 2 по всей длине выполнены продольные щели 4, под которыми установлены лотки 5 с открытыми торцами для сбора конденсата (рис. 5).

Устройство работает следующим образом.

Водовоздушный поток первоначально поступает на нижний ряд желобов 2, делясь на множество потоков, после чего, ударяясь о верхний ряд желобов 1, поток разделяется еще на два рукава, изменяя направление на обратное. При выходе из желобов 1, 2 поток суммируется с соседним, направление изменяется на исходное и происходит отделение капель влаги от водовоздушной смеси. Отделившиеся капли воды собираются в желобах 2 и через щели 4 поступают в лотки 5, где через торцы лотков стекают вниз.

Другим устройством этого типа является экраный каплеуловитель (рис. 6). Основным его элементом является V-образный профиль, где струи газа, образованные в промежутках между этими профилями, сталкиваются с основной V-образного элемента. Газовый поток либо отталкивается от основы, либо движется по кругу вдоль кривой составляющей элемента. При столкновениях и круговом движении капли отделяются от газового потока, попадает в сборник и возвращаются в градирню.

3.3. Сетчатые инерционные каплеотбойники

К третьей группе инерционных каплеуловителей градирен относится насадка, представленная на рис. 7. Такая конструкция представляет собой модуль из слоев полимерных ячеистых труб 1, которые размещаются во всех слоях па-

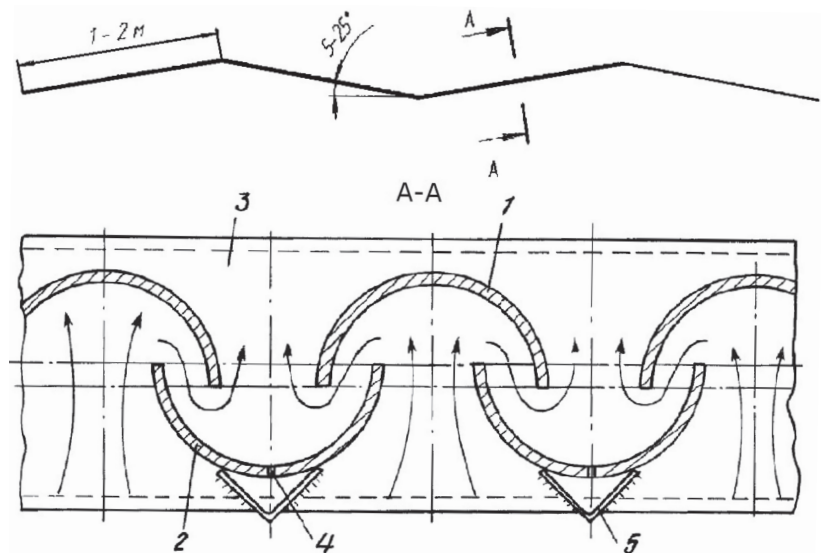


Рис. 5. Общий вид водоуловителя.

1, 2 — желоба криволинейного профиля; 3 — каркас; 4 — продольные щели; 5 — лотки для сбора конденсата

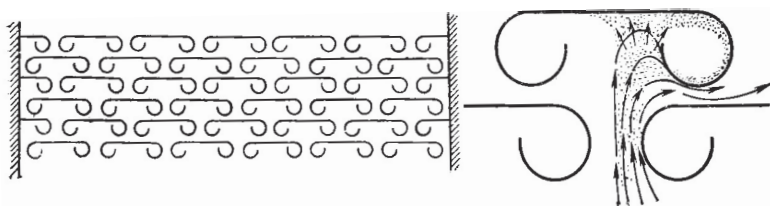


Рис. 6. Экранный инерционный каплеуловитель

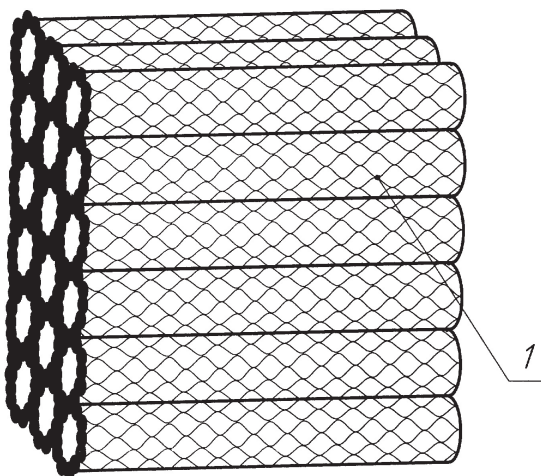


Рис. 7. Общий вид сетчатого водоуловителя градирни.
1 – полимерная ячеистая труба

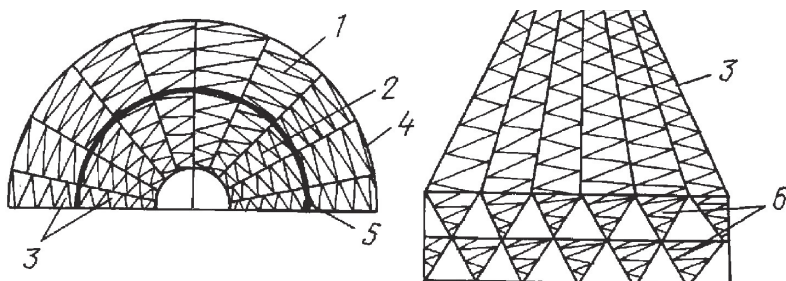


Рис. 8. Сетчатый каплеотбойник градирни.
1, 2 – пакеты насадки; 3 – сектора уловителя; 4, 5 – соответственно, внешний и внутренний пояс; 6 – сетчатые элементы насадки

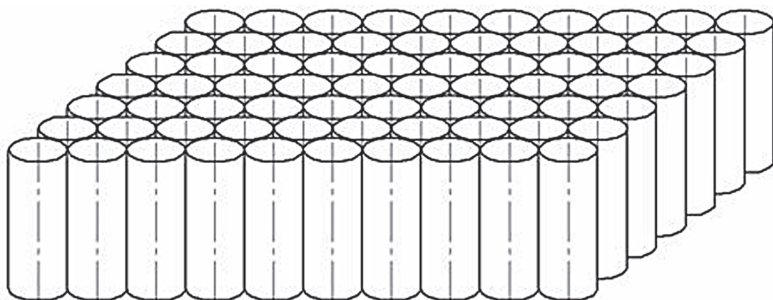


Рис. 9. Общий вид сепарационной насадки.

параллельно друг другу и сваренных по торцам модуля между собой в местах соприкосновения. Перед процессом сварки по торцам модуля концевым участкам полимерных ячеистых труб придается форма конического диффузора высотой $0,2 \div 0,5$ их диаметра и углом $30 \div 60^\circ$ относительно их центральной оси [13].

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

Восходящий парогазовый поток, насыщенный водяными каплями, проходит сквозь сетчатую сепарационную насадку, многократно меняя вектор скорости, что способствует осаждению водяных капель на поверхности его волокон, которые далее укрупняются и под действием массовых сил стекают обратно в градирню.

Похожая конструкция сепарационной насадки, отличающаяся только формой сетчатых элементов, представлена на рис. 8. Каплеуловитель градирни [14] содержит пакеты 1 и 2 объемных элементов пакеты, которые выполнены в виде секторов 3, равномерно размещенных внутри градирни. Пакеты 1, 2 установлены с образованием внутреннего и внешнего поясов 4, 5 соответственно. Пакеты 1, 2 обоих поясов установлены под углом $5 \div 10^\circ$ к вертикальной оси градирни. Объемные элементы 6 пакетов 1, 2 выполнены из полимерных нитей толщиной $0,5 \div 5,0$ мм (например, из полиэтилена низкого давления, поливинилхлорида марки ПВХ или из других термопластичных материалов). Элементы 6 выполнены из нитей экструзией с образованием ячеистой (сетчатой) структуры. Элементы 6 выполнены с профилем в виде равностороннего треугольника. Пакеты 1, 2 выполнены из горизонтальных рядов элементов 6, причем в смежных рядах профили обращены вершинами в противоположные стороны (рис. б). Пакеты 1, 2 поясов 4, 5 могут быть установлены с примыканием торцов (состыкованы), либо пакеты 1 внешнего пояса 5 размещены над пакетами 2 внутреннего пояса 4 (с перекрышей). Последняя компоновка позволяет полностью исключить прохождение влажного потока воздуха, минуя насадку.

Выполнение уловителя в виде двух поясов позволяет упростить изготовление пакетов 1, 2 (повысить технологичность, особенно для градирен большого диаметра), а также облегчить монтаж сепарационной насадки в градирне. Кроме того, улучшаются условия для транспортировки пакетов к месту установки. Соединение пакетов 1, 2 в блоки осуществляют посредством сварки (оплавлением) как торцов 7, так и боковых смежных пакетов.

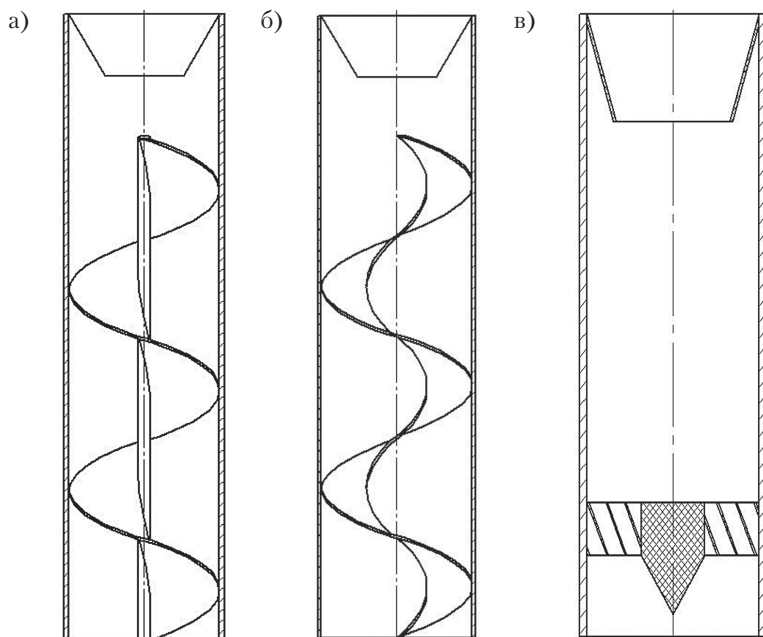


Рис. 10. Элементы сепарационной насадки с различными механическими закручивающими устройствами.
а) шнек; б) спиральная лента; в) аксиально-лопаточное

3.4 Центробежные каплеотбойники

Каплеотбойники, использующие силы центробежной сепарации, представляют собой модуль из отрезков труб (рис. 9), сваренных по торцевой поверхности между собой и расположенных в модуле параллельно друг другу, причем трубы могут располагаться как в шахматном, так и в прямоугольном порядке и ориентированы вертикально или под углом к горизонту. Каждый отрезок труб содержит в своем объеме аксиальное закручивающее устройство. Трубы выполнены из термопластичного материала [15-17].

Каждый отрезок трубки в своем объеме на выходном участке может содержать также улавливающий элемент, выполненный в виде прямого или наклонного полого усеченного конуса.

Варианты формирования закрученного движения потока в отдельном элементе водоуловителя представлены на рис. 10.

Каждый из представленных уловителей работает следующим образом.

Восходящий парогазовый поток поступает снизу каплеуловителя, где, попадая на закручивающее устройство, приобретает вращательное движение, которое также может быть получено при прохождении потока по спиральному каналу. За счет действия центробежной силы, возникающей при вращении, основная часть воды отесняется к стенке, где, укрупняясь, стекает вниз под действием гравитационных сил.

Далее парогазовый поток, пройдя зону сепарации, попадает в улавливающий элемент, внешняя коническая поверхность которого создает дополнительное сопротивление периферийному слою потока с высоким содержанием капельной жидкости.

Заключение

В заключение проведем обобщение основных недостатков присущих различным группам сепарационных насадок систем испарительного охлаждения оборотной воды, а также рассмотрим пути повышения эффективности процесса каплеулавливания в градирнях.

Как отмечалось ранее, основными показателями, характеризующими эффективность работы сепарационных насадок, являются унос капельной влаги и коэффициент аэродинамического сопротивления, причем, как правило, при улучшении одного параметра другой становится хуже.

Для сетчатых каплеуловителей в связи со сложностью и разнообразием расположения отдельных волокон существенно затруднен расчет их эксплуатационных параметров, поэтому весьма важным для уловителей подобного типа является разработка унифицированной методики расчета. Данная методика должна позволить определять унос капельной влаги и коэффициент аэродинамического сопротивления насадки в зависимости от ее геометрических размеров [18].

Для инерционных каплеуловителей без разворота потока в связи с многообразием видов их конструкций сложностью является выбор оптимальной конструкции уловителя, подходящей для заданных условий работы. Для этого необходимо теоретическим или экспериментальным путем определить величину уноса капельной влаги и коэффициента аэродинамического сопротивления при однократном изменении направления потока. В этом случае, представляя любую конструкцию каплеотбойника данного типа как последовательно расположенные элементы для изменения направления движения потока, можно с достаточной степенью точности прогнозировать эффективность его работы.

Инерционные каплеотбойники с разворотом потока, несмотря на высокую степень каплеулавливания, обладают повышенным аэродинамическим сопротивлением, поэтому при разработке новых конструкций насадок данного типа необходимо стремиться, в первую очередь, к уменьшению сопротивления.

Главным недостатком центробежных каплеуловителей, как отмечалось ранее, является сложность их изготовления и монтажа, поэтому для уловителей данной группы необходимо обеспечить технологичность изготовления отдельных элементов и их дальнейшей сборки в блоки.

Литература

1. Пономаренко В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие / В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев. Под общ. ред. В.С. Пономаренко. М.: Энергоатомиздат: 1998. 376 с.
2. Арефьев Ю.И. Пластмассовые водоуловители градирен / Ю.И. Арефьев, В.С. Пономаренко // Водоснабжение и санитарная техника — Haustechnik, 1994. №6.
3. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 9-е изд. М.: Химия, 1973. 752 с.
4. Рамм В.М. Абсорбция газов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1976. 656 с.
5. Афанасенко В.Г. Использование сил центробежной сепарации в процессе улавливания мелкодисперсной капельной жидкости в градирнях / В.Г. Афанасенко, С.П. Иванов, Е.В. Боев, Е.А. Николаев // Химическая промышленность сегодня. 2008. №2. С. 38-41.
6. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш.А. Пиралишвили, В.М. Поляев, М.Н. Сергеев. Под ред. Леонтьева А.И. М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. 412 с.
7. Боев Е.В. Ороситель градирни как составная часть теплообменного оборудования при непосредственном контакте газа и жидкости / Е.В. Боев, С.П. Иванов // XI региональный конкурс научных работ молодых ученых, аспирантов и студентов вузов Приволжского федерального округа. Уфа: Изд-во УГАТУ, 2007. С. 28-29.
8. Пат. №2172912 Российская Федерация, МПК F28F25/08. Водоуловитель градирни / Давлетшин Ф.М., Хуснутдинов Р.А., Давлетшин Ф.Ф.; заявлено 26.04.2000; опубл. 27.08.2001.
9. Пат. №2131105 Российская Федерация, МПК F28F25/08. Водоуловитель градирни / Пономаренко В.С., Данилов И.А., Саков Б.А. и др.; заявлено 28.11.97; опубл. 27.05.99.
10. Пат. №2056608 Российская Федерация, МПК F28F25/04. Водоуловитель градирни / Хотин В.Б., Бикчентаев Р.М., Пономаренко В.С., Алиевский П.А.; заявлено 26.10.93; опубл. 20.03.96.
11. Пат. №2109243 Российская Федерация, МПК F28F25/08. Водоуловитель градирни / Кеменов А.А., Ульянов Ю.А., Лепихов Г.А.; заявлено 30.06.96; опубл. 20.04.98.
12. Пат. №2052759 Российская Федерация, МПК F28F25/02. Водоуловитель градирни / Иванищев К.Г., Иванищева Э.К., Галушкина Г.А. и др.; заявлено 20.05.91; опубл. 20.01.96.
13. Пат. №2337296 Российская Федерация, МПК F28F25/04. Применение оросителя градирни в качестве водоуловителя градирен / Стороженко В.Н., Герасимов В.В., Рыжаков Г.Г., и др.; заявлено 19.03.07; опубл. 27.10.08.
14. Пат. №2246090 Российская Федерация, МПК F28F25/04. Водоуловитель градирни / Сухова Н.Н.; заявлено 05.08.2003; опубл. 10.02.2005.
15. Пат. №68110 Российская Федерация, МПК F28F25/02. Водоуловитель / Афанасенко В.Г., Боев Е.В., Николаев Е.А. и др.; заявл. 17.05.2007; опубл. 10.11.2007.
16. Пат. №64334 Российская Федерация, МПК F28F25/02. Водоуловитель / Евсеев Ю.А., Хафизов Н.Ф., Афанасенко В.Г., Боев Е.В.; заявл. 02.02.2007; опубл. 27.06.2007.
17. Пат. №70975 Российская Федерация, МПК F28F25/02. Сепарационный водоуловитель / Япрынцев Е.А., Хасанов Т.А., Иванов С.П. и др.; заявл. 15.10.2007; опубл. 20.02.2008.
18. Боев Е.В. Сетчатый водоуловитель градирни из полимерных материалов и композиций на их основе / Е.В. Боев, В.Г. Афанасенко // Аспирант и соискатель. 2008. №5. С. 132-133.

V.G. Afanasenko, E.V. Boev, E.A. Nikolaev

PECULIARITY OF SEPARATION AND DESIGN OF MIST SEPARATORS OF COOLING TOWERS

Systems of industrial water supply provide water delivery to production in the amount required and proper quality. Recycled water cooling often takes place in cooling towers with direct contact between liquid and air. One of negative factors of cooling tower operating is drop priming of liquid because drop may contain various chemical compounds. Mist separators are used for increasing of circulated water losses. The article views peculiarities of separation in cooling towers and also basic types of separation head constructions industrially applied are discussed.

Key words: separation, head, mist separator, liquid, cooling tower