УДК 66.021.3/4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАКЛОННО-ГОФРИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БЛОКА ОРОСИТЕЛЯ ГРАДИРНИ*

Канд. техн. наук, доц. **Мадышев И.Н.**
Аспирант **Хафизова А.И.**
Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

***Аннотация**. В работе представлена оригинальная методика охлаждения оборотной воды в градирнях, которая позволяет заметно сократить использование химических реагентов, не уступая по эффективности аналогам. Разработана и создана экспериментальная установка, на которой проводились гидравлические и теплообменные исследования наклонно-гофрированного элемента блока оросителя. В ходе эксперимента были определены температурные режимы, в которых работает данный блок насадки и его гидравлическое сопротивление.*

***Ключевые слова:** теплообмен, гидравлическое сопротивление, безреагентная градирня, ороситель, насадка.*

Широкое применение при охлаждении жидкости на промышленных энергетических предприятиях в градирнях находят насадочные оросители. Существуют огромное множество насадочных элементов, наиболее известные из них: кольца Рашига, кольца Палля, «Инжехим», HY-PAK, CASCADE-RINGS и др. Насадочные блоки оросителя отличаются высокой эффективностью охлаждения, невысоким гидравлическим сопротивлением, высокоразвитой поверхностью контакта фаз в газожидкостной системе. Однако существенной проблемой на сегодняшний день при использовании насадочных и других видов оросителей является быстрое развитие микроорганизмов в жидкой среде и появление биологических обрастаний, что существенно влияет на эффективность работы устройства, приводит к коррозии элементов. На большинстве предприятий для решения данной проблемы используют химические реагенты, закупка которых дорогостояща [1-6].

Для того, чтобы решить поставленные задачи необходимо разработать такую схему работы градирни, при которой количество реаген-

* *Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-417.2019.8*

тов сводится к минимуму, а эффективность охлаждения жидкости находится на высоком уровне.

Целью проводимых экспериментальных исследований является определение гидравлического сопротивления блока оросителя градирни, состоящего из наклонно-гофрированных контактных элементов**.**

Авторами статьи представлена оригинальная методика охлаждения оборотной воды, представленная схематично на рис. 1. В градирне организована трехпоточная система движения воды и атмосферного воздуха [7].

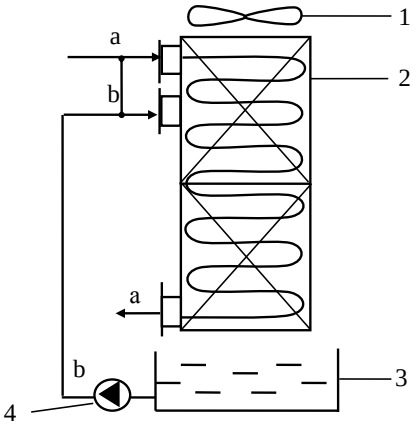

Рис. 1. Принципиальная схема безреагентной градирни с наклонно-гофрированными контактными элементами: 1 – вентилятор; 2 – блок оросителя; 3 – водосборный бассейн; 4 – водяной насос; a – основной поток горячей воды; b – орошаемый поток воды

Принцип действия данной градирни следующий: горячая вода, поступающая после оборудования, в полости аппарата разделяется на два потока так, что главный поток (a) горячей воды попадает в трубчатый радиатор, не взаимодействуя с атмосферным воздухом. Другой поток воды (b) контактирует с потоком атмосферного воздуха и охлаждается путем частичного испарения. Второй поток жидкости выступает в качестве хладагента для основного потока, охлаждая его, омывая стенки труб. Так как поток воды (a) не контактирует с воздухом, различные примеси не имеют возможности попасть в него, следовательно, развитие микроорганизмов в среде практически невозможно. Поток воды (b) представляет собой смесь 5-6% горячей жидкости, по-

даваемой от оборудования и воды, находящейся в водосборном бассейне, которая циркулирует через ороситель с помощью водяного насоса. Благодаря испарению воды, в бассейне поддерживается один уровень жидкости.

Таким образом, одним из основных элементов данной градирни является ороситель. Именно в нем происходит охлаждение потока жидкости, которая в свою очередь отбирает тепло от основного потока воды. В связи с этим была разработана экспериментальная установка для исследования тепломассообменных процессов, протекающих на поверхности наклонно-гофрированных элементов. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

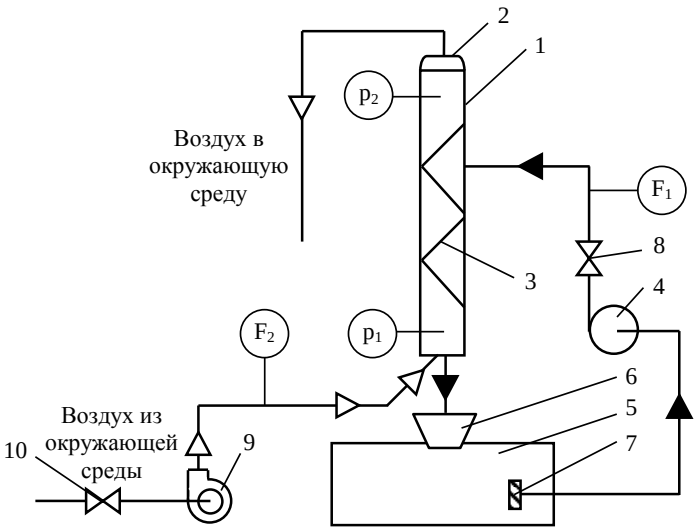

Рис. 2. Схема экспериментальной установки:
1 – тепломассообменный аппарат; 2 – крышка; 3 – наклонно-гофрированные контактные элементы; 4 – насос; 5 – емкость; 6 – воронка; 7 – жидкостной фильтр; 8 – запорная арматура на линии подачи воды; 9 – вентилятор; 10 – запорная арматура на линии подачи воздуха

Эксперименты проводились на системе воздух – вода. Вода с помощью распределительного устройства подавалась сверху в центральную часть первой контактной ступени. Фиктивная скорость потока воздуха (на полное сечение устройства) варьировалась в диапазоне

1,4–2,55 м/с; плотность орошения 12–37 $м^3/м^2 \cdot ч$. Расход жидкости измерялся ротаметром, скорость воздуха измерялась термоанемометром testo 405i, имеющий относительную погрешность не более 5%. Перепад давлений, на высоте равной двум контактным ступеням, измерялся с помощью дифференциального манометра testo 510i с абсолютной погрешностью не более 5 Па.

Исследуемая насадка состоит из двух контактных ступеней, общей высотой 340 мм. Контактная ступень представляет собой два наклонных элемента, расположенных под углом 90°. Пластины представляют собой ленточно-поточные контактные элементы с горизонтальными гофрами округлого профиля радиусом 7,5 мм. На боковых поверхностях и в верхней части гофр просверлены круглые отверстия диаметром 5 мм. Размеры исследуемого аппарата в поперечном сечении составляют 100х100 мм.

Поток жидкости двигался по углублениям пластин сверху вниз по Z-образной траектории. Часть жидкости проваливалась вниз, вдоль поверхности стенки блока насадки, другая часть попадала на нижерасположенную пластину. Воздух проходил через отверстия пластин, выталкивая в разные стороны капли воды, тем самым распыляя жидкость по всему объему насадки. Вышерасположенная наклонная пластина в данной конструкции выполняла роль сепарирующего устройства, снижая процент уноса капель жидкости из рабочей области насадки. Конструктивное оформление насадки выполнено таким образом, что распределение жидкости в рабочем объеме происходит самостоятельно, максимально заполняя всю поверхность пластины с образованием пленочного течения, которое разрушается под воздействием струй и капель жидкости из отверстий в верхних частях пластины.

Исследования по определению гидравлического сопротивления наклонно-гофрированных контактных элементов показывают, что режим подвисания, который характеризуется резким увеличением гидравлического сопротивления, наступает при фиктивной скорости газа от 1,7 до 2,3 м/с в зависимости от плотности орошения (рис. 3). При этом, чем выше плотность орошения, тем этот режим наступает при меньших скоростях воздуха.

В этом режиме работы гидравлическое сопротивление на 1 м высоты слоя насадки не превышает 1 кПа. При дальнейшем увеличении скорости газа наблюдается увеличение задержки жидкости в аппарате, и, как следствие, мгновенный рост гидравлического сопротивления, который заканчивается наступлением уноса капель жидкости из насадки.

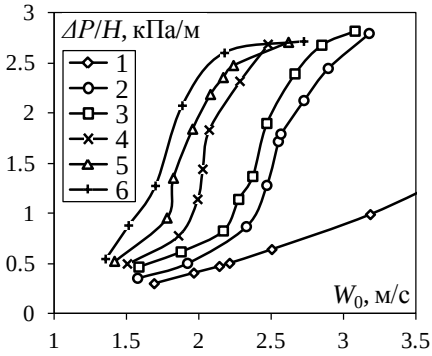

Рис. 3. Изменение гидравлического сопротивления наклонно-гофрированных контактных элементов в зависимости от фиктивной скорости воздуха:
плотности орошения q, $м^3/м^2 \cdot ч$: 1 – 0; 2 – 12; 3 – 18; 4 – 24; 5 – 31; 6 – 37

Так же проводилось сравнение гидравлического сопротивления струйно-пленочного контактного устройства [8] с наклонно-гофрированным контактным элементом (рис. 4).

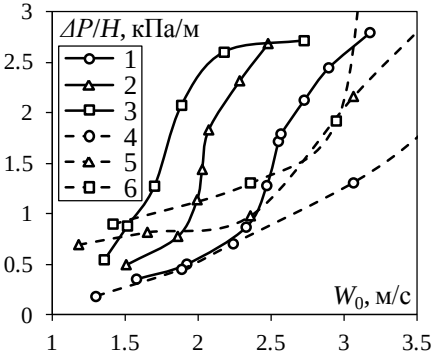

Рис. 4. Сравнительный анализ по гидравлическому сопротивлению:
сплошная линия – наклонно-гофрированные контактные элементы;
штриховая линия – струйно-пленочные устройства;
плотности орошения q, $м^3/м^2 \cdot ч$: 1, 4 – 12; 2, 5 – 24; 3, 6 – 37

Как видно из графика, гидравлическое сопротивление наклонно-гофрированных элементов выше, чем у струйно-пленочных. Несмотря

на это, гидравлическое сопротивление у наклонно-гофрированных контактных элементов можно снизить, увеличив свободное сечение для прохода газа. Таким образом, рекомендуется увеличить диаметр отверстий и их количество.

Выводы: исследования показывают высокую эффективность разработанных насадок, обладающую невысоким гидравлическим сопротивлением, малым процентом уноса жидкости из аппарата. Кроме того, применение разработанной трехпоточной схемы охлаждения оборотной воды позволит значительно сократить объемы используемых химических реагентов для сдерживания развития бактериальных отложений.

Библиографический список

1. Фарахов Т.М., Башаров М.М., Шигапов И.М. Гидравлические характеристики новых высокоэффективных нерегулярных тепломассообменных насадок // Нефтегазовое дело. 2011. № 2. С. 192-207.

2. Замалеев М.М., Шарапов В.И. О мероприятиях по предотвращению биологического загрязнения сетевой воды // Новости теплоснабжения. 2015. № 4. С. 43-47.

3. Лаптев А.Г. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов. Казань: Отечество, 2013. 454 с.

4. Методы снижения бактериального загрязнения систем оборотного охлаждения ТЭЦ / Н.Д. Чичирова, А.А. Чичиров, С.М. Власов, А.Ю. Власова // Теплоэнергетика. 2015. № 7. С. 62-67.

5. Performance assessment of oxidants as a biocide for biofouling control in industrial seawater cooling towers / M. Al-Bloushi, J. Saththasivam, S. Al-Sayeghc, S.Jeong, K.C. Ng, G.L. Amy, T. Leiknes // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2018. V. 59. P. 127-133.

6. Насадки массообменных колонн / Б.А. Сокол, А.К. Чернышев, Д.А. Баранов и др. М.: Инфохим, 2009. 358 с.

7. Разработка конструкции блока оросителя безреагентной испарительной градирни / И.Н. Мадышев, А.В. Дмитриев, А.И. Хафизова, О.С. Дмитриева // Актуальные проблемы в машиностроении. 2019. Т. 6, № 1-4. С. 162-167.

8. Dmitrieva O.S., Madyshev I.N., Dmitriev A.V. Determination of the Heat and Mass Transfer Efficiency at the Contact Stage of a Jet-Film Facility // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. V. 90. № 3. P. 651-656.