

УДК 66.021.3/4

О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриев**УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ**

В статье предложена вихревая камера с дисковым распылителем для охлаждения оборотной воды. Профиль и параметры разбрызгивания капель жидкости могут существенно различаться в зависимости от конструктивных и технологических параметров контактного устройства и аппарата в целом. Отличительной особенностью разработанного авторами устройства является интенсивный контакт между газом и жидкостью, низкое гидравлическое сопротивление. Выполнены исследования по оценке эффективности процесса охлаждения воды атмосферным воздухом, целью которых является создание равномерного факела распыла оборотной воды в рабочей зоне аппарата и увеличения тепломассообменной эффективности процесса.

Ключевые слова: градирня, охлаждение, оборотная вода, ресурсосбережение, вихревая камера.

Каждый год в мире потребляется более одной четверти всех доступных возобновляемых ресурсов свежей воды. По данным ООН, при условии, что объем водопотребления сохранится на таком же уровне, то к 2050 году потребление мировых запасов свежей воды возрастет до 70 % только за счет прироста численности населения [1]. В соответствии с положениями Водной стратегии РФ на период до 2020 года основным направлением является обеспечение рационального использования водных ресурсов, снижение удельного объема водопотребления на технологические нужды предприятий, внедрение водосберегающих технологий [2]. При этом в схемах рационального и эффективного использования водных ресурсов широкое применение находят градирни, работающие в водооборотных охлаждающих системах [3]. Однако перед специалистами предприятий разных отраслей промышленности нередко возникает проблема, связанная с обновлением и ремонтом существующих градирен. Неотъемлемым требованием при планировании дальнейшего развития производства остается повышение надежности охлаждения оборотной воды градирнями, поскольку от того, насколько стабильно и эффективно

Дмитриева Оксана Сергеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических технологий (Нижекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Нижекамск); e-mail: ja_deva@mail.ru

Дмитриев Андрей Владимирович — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой машин и аппаратов химических производств (Нижекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Нижекамск); e-mail: ieremiada@gmail.com

© Дмитриева О. С., Дмитриев А. В., 2015

она работает в системе оборотного водоснабжения зависит мера реализации берегающих технологий в техническом, экономическом и экологическом плане: количество и стоимость потребления и расходования воды, топлива, электроэнергии и сырья [4]. При этом не стоит забывать и о других существующих проблемах при эксплуатации градирен – выбросы в атмосферный воздух вредных веществ, содержащихся в оборотной воде, аэрозолей, образующихся при испарении капель технической воды, высокие эксплуатационные затраты на перекачивание воды и воздуха, коррозия, обледенение элементов конструкции в зимнее время и другие [3].

Возможным способом решения проблемы повышения энергоэффективности охлаждения оборотной воды является использование вихревых камер с дисковыми распылителями (рис. 1) в системах охлаждения оборотной воды [5].

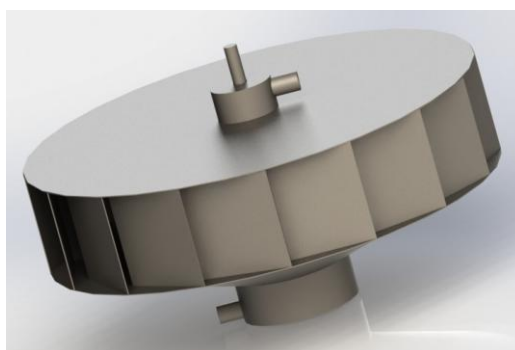


Рис. 1. Общий вид вихревой камеры для охлаждения оборотной воды

По оси вихревой камеры (рис. 2) расположен вал с дисковым распылителем 2 и лопастями 3, который приводится во вращение двигателем. Горячая техническая вода на охлаждение поступает в аппарат через патрубок 1, расположенный в верхней части устройства. Далее она попадает в распылитель 2, откуда распределяется по дискам различного диаметра. При вращении распылителя 2 горячая вода срывается с дисков в виде капель, отбрасывается в разные стороны, при этом образуется объемный факел распыла. Причем, вращаясь с одинаковой угловой скоростью, диски, имея разный диаметр, создают капли разного диаметра, что обеспечивает равномерное заполнение рабочей зоны аппарата, исключаются застойные зоны и увеличивается теплообменная эффективность процесса. Капли, равновесный радиус которых превышает радиус аппарата, или влетающие в лопасти завихрителя 5 по инерции, дробятся и возвращаются в рабочую зону, либо стекают по лопаткам завихрителя 5, контактируя со свежим потоком воздуха. Капли, равновесный радиус которых менее диска, с которого они вылетают, а также относительно мелкие капли, образующиеся в результате дробления капель в воздухе,

контактируют с потоком воздуха в пространстве между распылителем 2 и лопастями 3.

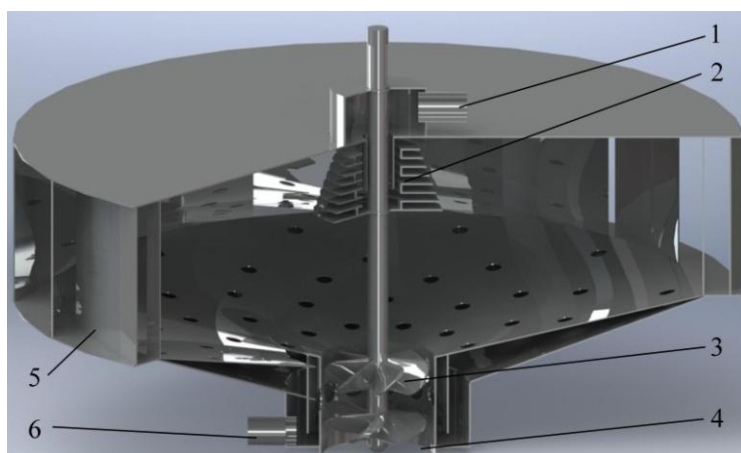


Рис. 2. Вихревая камера с дисковым распылителем, в разрезе:

- 1 – патрубок для входа горячей воды; 2 – дисковый распылитель; 3 – лопасти;
4 – патрубок для выхода воздуха; 5 – тангенциально-лопаточный завихритель;
6 – патрубок для выхода охлажденной воды

Лопастями 3 крепятся на валу, расположены в патрубке для выхода отработанного воздуха 4 в несколько рядов на некотором расстоянии друг от друга, что позволяет уменьшить диаметр лопастей 3 и, следовательно, диаметр выходного патрубка 4, увеличивая объем рабочей зоны аппарата. Вращающиеся на валу лопасти 3 создают пониженное давление в патрубке для выхода воздуха 4, что обеспечивает тягу охлаждающего воздуха в аппарат через тангенциально-лопаточный завихритель 5. Атмосферный воздух приобретает вращательное движение, перемещаясь к центру аппарата, капли вовлекаются в совместное вращательное движение. Такое взаимодействие воздуха и капель приводит к образованию в рабочей зоне аппарата мелкодисперсного вращающегося капельного слоя, что увеличивает поверхность межфазного взаимодействия и интенсивность протекания теплообменного процесса. Воздух удаляется через центральный патрубок 4, расположенный в нижней части аппарата. Под действием центробежной, гравитационной сил и силы аэродинамического сопротивления капли жидкости движутся к коническому днищу аппарата по равновесным траекториям. Далее охлажденная вода стекает вниз через отверстия, выполненные в стенке конического днища с перфорацией, попадает на поверхность днища без перфорации, после чего она выводится из вихревого аппарата через патрубок 6. Другая часть охлажденной воды стекает в виде пленки, заполняя зазор между лопастями 3 и внутренней стенкой патрубка 4 для выхода воздуха, что позволяет приблизить значение потребляемой мощности к полезной, и направляется через отверстия в патрубок 6 для отвода во-

ды. Достоинствами разработанного авторами статьи аппарата являются высокая эффективность протекания теплообменных процессов при относительно низких энергетических затратах, низкое гидравлическое сопротивление аппарата, снижение эксплуатационных затрат на обслуживание дискового распылителя, отсутствие мелких проходных сечений исключает их засорение. Создание закрученного потока воздуха минимизирует капельный унос влаги и увеличивает коэффициенты тепло- и массоотдачи, что дает возможность для изменения нагрузок по воздуху и воде в широком диапазоне [6; 7]. Для того, чтобы снять нагрузку с градирен, работающих на предприятиях, в случае больших объемов горячей воды, нуждающейся в охлаждении, а также для снижения эксплуатационных расходов на транспортировку жидкости предусмотрено горячую воду с удаленных потребителей направлять для охлаждения в вихревую камеру с дисковым распылителем. Гибкость управления, возможность поочередного включения и выключения градирен, возможность работы вихревой камеры непосредственно для обеспечения ближних потребителей охлажденной водой при небольших объемах водопотребления, а также в системе с работающими градирнями — для снижения их гидравлической нагрузки, снижение эксплуатационных затрат на перекачивание воды по трубопроводам, снижение времени процесса охлаждения, снижение потребления подпиточной воды, надежность системы водоснабжения — являются преимуществами использования разработанного авторами аппарата.

Наиболее подходящим для оценки эффективности процесса охлаждения воды воздухом может быть удельный тепловой поток установки охлаждения воды, кВт/кВт, определяемый по формуле [8]

$$\zeta = Q/N,$$

где ζ — удельный тепловой поток установки охлаждения воды, кВт/кВт; Q — тепловая нагрузка водоохладителя, кВт; N — энергия на перекачивание воздуха и воды, кВт.

Сравнительный анализ водоохладителей, представленный в работе [3], по показателю ζ на основе данных [9] показал, что наибольшей эффективностью характеризуются брызгальные градирни и градирни с регулируемой насадкой, однако каплеотбойные устройства имеют повышенный процент уноса капельной влаги, что ухудшает экологическую обстановку в районах действия промышленных градирен. Обеспечивая интенсивное взаимодействие фаз, подвижная насадка имеет ряд недостатков: большое количество энергии потока газа расходуется на ее поддержание в псевдооживленном режиме, что существенно повышает гидравлическое сопротивление. Существует проблема улавливания уносимых капель. Элементы насадки, соударяясь друг с другом и со стенками аппарата, разрушаются, загрязняя продуктами износа охлаждаемую воду. Исследования показали, что установка охлаждения оборотной воды с использованием вихревой камеры с дисковыми распылителями является перспективной, по-

скольку позволит сократить энергетические затраты на охлаждение воды и свести к минимуму подпитку водооборотной системы.

С целью оценки эффективности охлаждения воды потоком воздуха в вихревой камере с дисковыми распылителями были выполнены теоретические исследования влияния технологических параметров на процесс. Базовыми параметрами при построении зависимостей, представленных на рисунке 3, были выбраны начальная температура воздуха 20 °С, начальная относительная влажность 75 %, абсолютное давление в аппарате 101325 Па, начальная температура воды 40 °С.

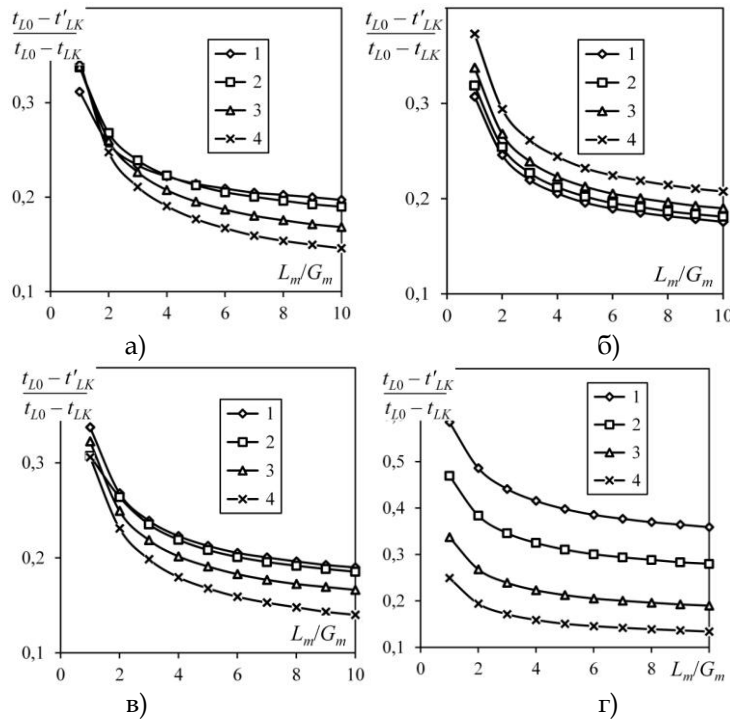


Рис. 3. Зависимости относительного изменения температуры охлажденной жидкости от отношения массовых расходов жидкой и газовой фаз при различных параметрах:

а – начальная температура воды, °С: 1 – 30, 2 – 40, 3 – 50, 4 – 60;

б – начальная относительная влажность воздуха, %: 1 – 50, 2 – 60, 3 – 75, 4 – 100;

в – абсолютное давление в аппарате, кПа: 1 – 101,3, 2 – 70, 3 – 30, 4 – 17;

г – начальная температура воздуха, °С: 1 – -20, 2 – 0, 3 – 20, 4 – 30

(t'_{LK} – конечная температура охлажденной воды при отсутствии испарения, °С;

t_{LK} – конечная температура охлажденной воды, °С;

t_{L0} – температура воды, подаваемой на охлаждение, °С.)

Как показывают зависимости, представленные на рис. 3а-в, начальная температура воды, относительная влажность воздуха и абсолютное давление воздуха в аппарате не оказывают влияния на изменение доли теплообмена за счет процесса испарения. Исследования показали, что

доля теплообмена испарением составляет от 40 % до 90 %, следовательно, в расчетах необходимо учитывать как явный теплообмен, так и скрытый. С увеличением начальной температуры воздуха доля теплообмена испарением уменьшается (рис. 3г).

Таким образом, полая вихревая камера с дисковым распылителем может быть использована для охлаждения оборотной воды промышленных предприятий, так как сможет обеспечить хорошую эффективность процесса при умеренных энергетических затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы и их влияние на состояние и перспективы региональных земельных рынков в мире: обзор информационно-аналитической службы Федерального портала «Индикаторы рынка земли». М., 2008. 15 с.
2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р. М., 2009. 39 с.
3. *Дмитриева О. С., Дмитриев А. В.* Тепломассообмен в вихревых камерах с распылителями. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 132 с.
4. Новейшие технологии охлаждения воды компании SPIG // Нефтегазовые технологии. 2007. № 12. С. 2–6.
5. Пат. 130677 Российская Федерация, МПК F28C 1/00. Вихревой аппарат с дисковым распылителем / Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Николаев А. Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Казанский нац. иссл. технол. ун-т». № 2012154478/06; заявл. 14.12.2012; опубл. 27.07.2013, Бюл. № 21. 2 с.
6. *Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N.* Distribution of Circulating Water in the Work Area of a Vortex Chamber with Disk Atomizer for the Purpose of Increasing the Efficiency of the Cooling Process // Chemical and Petroleum Engineering. 2014. V. 50. № 3–4. P. 169–175.
7. *Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V.,* Cooling of circulating water in a vortex chamber with disk atomizer // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. V. 49. № 3–4. P. 156–161.
8. *Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Николаев А. Н.* Перспективы использования вихревых камер для охлаждения оборотной воды промышленных установок // Промышленная энергетика. 2012. № 10. С. 31–34.
9. *Носиков А. А.* Теплоэнергетическая эффективность охладителей водооборотных циклов // Вести национальной академии наук Белоруссии. 2008. № 2. С. 107–110.

* * *

Dmitrieva Oxana S., Dmitriev Andrey V.
**INCREASED ENERGY EFFICIENCY OF THE COOLING
PROCESS OF CIRCULATING WATER**

(Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology, the branch
of Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk)

In the article developed is a vortex chamber with disk atomizer for cooling circulating water. The profile and parameters of spraying the liquid drops can vary significantly, depending on the design and the process parameters of the contact device and the apparatus as a whole. The distinctive feature of the developed device is an intensive countercurrent contact between the gas (vapor) and liquid, low hydraulic resistance. The researches to evaluate the effectiveness of

process water cooling atmospheric air are performed. The purpose is to create a steady spray of circulating water in the work area of the device and to increase the efficiency of heat and mass transferring process.

Keywords: cooling tower, cooling, circulating water, resource-saving, vortex chamber.

REFERENCES

1. Water resources and their impact on the state and prospects of regional land markets in the world, A review of information-analytical Department of the Federal portal «Indicators of land market», Moscow, 2008. 15 p. (In Russ.).
2. Water strategy of the Russian Federation for the period till 2020: approved by the decree of the RF Government dated 27 August 2009 № 1235-п. Moscow, 2009. 39 p. (In Russ.).
3. Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V. *Teplomassoobmen v vikhrevykh kamerakh s raspylitel'yami* (Heat and mass transfer in vortex chambers with sprays), Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publ., 2014. 132 p.
4. The latest cooling technology water company SPIG *Neftegazovye tekhnologii*, 2007, no. 12, pp. 2–6. (In Russ.).
5. Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N. *Vikhrevoy apparat s diskovym raspylitelem* (Vortex apparatus with disk atomizer), Patent 130677 of Russian Federation, applicant and patentee Kazan National Research Technological University, no. 2012154478/06, claimed 14.12.2012, published 27.07.2013, Bul. no 21. 2 p.
6. Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N. Distribution of Circulating Water in the Work Area of a Vortex Chamber with Disk Atomizer for the Purpose of Increasing the Efficiency of the Cooling Process, *Chemical and Petroleum Engineering*, 2014, Vol. 50, no. 3–4, pp. 169–175.
7. Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V. Cooling of circulating water in a vortex chamber with disk atomizer, *Chemical and Petroleum Engineering*, 2013, Vol. 49, no. 3–4, pp. 156–161.
8. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Nikolaev A. N. Prospects of the use of vortex chambers for the cooling circulating water of industry plants [Perspektivy ispol'zovaniya vikhrevykh kamer dlya okhlazhdeniya oborotnoy vody promyshlennykh ustanovok], *Promyshlennaya energetika*, 2012, no. 10, pp. 31–34.
9. Nosikov A. A. Heat energy efficiency cooling water circulating [Teploenergeticheskaya effektivnost' okhladiteley vodooborotnykh tsiklov], *Vesti natsional'noy akademii nauk Belorussii*, 2008, no. 2, pp. 107–110.

* * *