

Водные ресурсы – один из немногих природных ресурсов, динамично вовлеченных в процессы окружающей природной среды и социально-экономическое развитие общества, сферу международных отношений. Спрос на водные ресурсы непрерывно растет, и обеспечение потребностей в воде населения и отраслей экономики в этих условиях достаточно сложная задача. С одной стороны, следует принимать во внимание природные факторы, обуславливающие характер формирования и распределения водных ресурсов – неравномерность территориального распределения вод, естественные колебания стока во времени, климатические изменения. С другой стороны, требуется учитывать воздействие антропогенных факторов на водные ресурсы, вызванных растущими масштабами изъятия вод и их загрязнения.

Хозяйственная деятельность достигла таких размеров, что устранение ее негативных экономических, социальных и экологических последствий в речных бассейнах требует скоординированных международных действий.

Климатические изменения, загрязнение и истощение вод, неупорядоченное строительство водозаборных сооружений в речных бассейнах также приводят к негативной трансформации качественного и количественного режима стока рек, снижая водообеспечение населения и отраслей экономики, затрудняя планирование развития водного хозяйства и повышая инвестиционные риски [1].

Для решения возникших проблем необходимо разработать и последовательно осуществлять государственную политику, направленную на обеспечение устойчивого водопользования. В возможно короткие сроки это позволило бы начать работу по решению указанного комплекса проблем. С этой целью в 2009 г. разработана и принята Правительством «Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года», определяющая основные направления действий в водоресурсной сфере [2, 3]. По мере усиления глобального водodefицита все активнее будет развиваться и расширяться на мировом рынке сектор технологий интенсивного водопользования – водоэффективных, водосберегающих и водоохраных [4]. В целях максимально эффективного использования водных ресурсов предприятия используют водооборотные охлаждающие системы, где основным оборудованием являются градирни [5].

Однако существующие недостатки традиционных градирен, такие как плохая смачиваемость насадочных устройств, недостаточно равномерное распределение воды, обледенение вентиляторов и других элементов в зимнее время и т.д., делают весьма актуальной задачу разработки новых аппаратов для охлаждения оборотной воды. К тому же проблема ремонта и обновления парка градирен в последнее время особенно остро встает перед специалистами различных предприятий [6]. Позволит решить данную проблему и эффективно осуществлять процесс охлаждения оборотной воды применение в промышленности теплообменного устройства для контакта газа и жидкости в вихревом потоке для систем оборотного водоснабжения и

тепломассообменного аппарата с комбинированной схемой взаимодействия потоков газа и жидкости [7, 8]. Разработанное тепломассообменное устройство для контакта газа и жидкости в вихревом потоке для систем обратного водоснабжения отличается простотой конструкции, оно не имеет деталей, изготавливаемых с высокой точностью, следовательно, его себестоимость будет минимальной. Создание закрученного потока воздуха минимизирует капельный унос воды и увеличивает коэффициенты тепло- и массоотдачи, что дает возможность для широкого изменения нагрузок по воздуху и воде. Отсутствие мелких проходных сечений исключает их засорение или замерзание, поэтому обеспечивается эффективная работа при наличии загрязнений как в воздухе, так и в оборотной воде, что снижает затраты на её подготовку, минимизирует перепады давления воздуха и воды. За счет увеличения высоты лопаток завихрителя происходит рост времени контакта воды и воздуха, увеличивается пропускная способность по воздуху. Гидравлическое сопротивление может быть существенно снижено, так как энергия потока воздуха не затрачивается на подъем капель вверх, капли движутся вниз под действием гравитационных сил. Проведенные авторами статьи исследования позволили усовершенствовать конструкцию тепломассообменного устройства для контакта газа и жидкости в вихревом потоке, в результате чего был разработан вихревой аппарат с дисковым распылителем [9]. Применение дискового распылителя вместо конической форсунки позволяет осуществлять эффективный процесс охлаждения воды при различных скоростях потока воздуха на входе в аппарат, т.к. дисковый распылитель образует капли требуемых диаметров. Энергия потока воздуха не тратится на дробление капель, что снижает гидравлическое сопротивление разработанного аппарата. Внешний вид разработанной вихревой камеры с дисковым распылителем представлен на рисунке 1. Рис. 1 – Вихревая камера с дисковым распылителем: 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. Обратная вода поступает в вихревую камеру через патрубок 1, попадает в распылитель 2, закрепленный на валу, откуда распределяется по дискам разного диаметра. Выбор минимального диаметра диска распылителя определяется, исходя из условия, что радиус полета капли не превышает радиус вихревой камеры. Максимальный диаметр диска распылителя определяется, исходя из условия, что радиус полета капли больше радиуса патрубка для выхода воздуха. При вращении вала, жидкость срывается с дисков распылителя 2 в виде капель, отбрасывается в разные стороны, при этом образуется объемный факел распыла. Причем, вращаясь с одинаковой угловой скоростью, диски, имея разный диаметр, создают полидисперсный капельный распыл, что обеспечивает равномерное заполнение рабочей зоны аппарата каплями, исключаются застойные зоны и увеличивается теплообменная

эффективность процесса. Лопасты 3 крепятся на валу и расположены в патрубке для выхода воздуха 4 в несколько рядов на некотором расстоянии друг от друга, что позволяет уменьшить диаметр выходного патрубка 4, увеличивая объем рабочей зоны вихревой камеры. Вращающиеся на валу лопасти 3 создают пониженное давление в патрубке для выхода воздуха 4, что обеспечивает тягу воздуха в камеру через тангенциально-лопаточный завихритель 5. Под действием центробежной, гравитационной сил и силы аэродинамического сопротивления капли воды движутся к коническому днищу аппарата по равновесным траекториям. Далее вода стекает вниз через отверстия, выполненные в стенке конического днища с перфорацией, попадает на поверхность днища без перфорации, после чего охлажденная вода выводится из вихревой камеры через патрубок 6. Другая часть стекает в виде пленки, заполняя зазор между лопастями и внутренней стенкой патрубка для выхода воздуха 4, что позволяет приблизить значение потребляемой мощности к полезной, и направляется через отверстия в патрубок для выхода воды 6. Разработанная конструкция вихревой камеры с дисковым распылителем позволяет эффективно осуществить сепарацию воды и воздуха, нет необходимости использования дополнительного привода для принудительной подачи воздуха в аппарат. Расположение вала на оси аппарата исключает попадание на нее капель; лопасти создают большую центробежную силу, действующую на капли после контакта воды и воздуха и за счет этого – минимальный капельный унос и снижение количества подпиточной воды. Размещение на одном валу распылителя и лопастей максимально снижает энергетические затраты на перемещение воздуха, т.к. лопасти находятся в непосредственной близости от рабочей зоны. Созданием нисходящего потока частично компенсируется сила тяжести вала, что снижает нагрузку на его крепление. Достоинствами аппарата являются низкое гидравлическое сопротивление аппарата, простота конструкции, высокая эффективность охлаждения при относительно низких энергетических и эксплуатационных затратах. Существенное влияние на распределение оборотной воды с дисков распылителя оказывают такие параметры, как радиус аппарата и угол наклона образующей днища к оси завихрителя, поскольку объем рабочей зоны аппарата, заполненный каплями равных диаметров, становится практически одинаковым по радиусу аппарата. Угол наклона образующей днища к оси завихрителя можно определить из соотношения: (1) где h_p – высота распылителя, м; h_{max} – высота полета капель максимального расчетного диаметра, м; h_{min} – высота полета капель минимального расчетного диаметра, м; r_{max} – радиус равновесной траектории капель максимального расчетного диаметра, м; r_{min} – радиус равновесной траектории капель минимального расчетного диаметра, м. Исходя из конструктивных особенностей аппарата: $r_{min} = D_n/2$; $r_{max} = R_a$, где D_n – диаметр патрубка для выхода воздуха, м; R_a – радиус аппарата, м. Следует

отметить, что капли, равновесный радиус которых превышает радиус аппарата, или влетающих в лопатки по инерции, дробятся и возвращаются в рабочую зону и стекают по лопаткам вниз, 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 и лопастями. Расчет вихревой камеры с дисковым распылителем проводился для аппарата с радиусом $R_a = 0,5$ м, диаметром выходного патрубка для газа $D_n = 0,25$ м, высотой распылителя $h_p = 0,2$ м, высотой лопаток завихрителя $h = 0,3$ м, углом наклона образующей днища на оси завихрителя $\chi = 20^\circ$, общим количеством дисков распылителя $n = 10$, расстоянием между дисками $\Delta z = 0,004$ м. Результаты расчетов показали, что угол наклона образующей днища к оси завихрителя увеличивается с ростом высоты распылителя, так как увеличивается разница уровней положения капель, и уменьшается с ростом высоты лопаток, так как меняются условия обтекания капли и коэффициент массоотдачи (рис. 2). Рис. 2 – Зависимость угла наклона образующей днища к оси завихрителя от высоты лопаток завихрителя и распылителя h_p , м: 1 – 0,05; 2 – 0,1; 3 – 0,2; 4 – 0,3. Рис. 3 – Зависимость угла наклона образующей днища к оси завихрителя от высоты лопаток завихрителя и диаметра выходного патрубка для газа D_n , м: 1 – 0,1; 2 – 0,15; 3 – 0,2; 4 – 0,25. На рисунке 3 видно, что угол наклона образующей днища к оси завихрителя увеличивается с ростом диаметра выходного патрубка из-за изменения условий обтекания. Для создания предельной эффективности необходимо максимально уменьшить диаметр выходного патрубка, так как объем рабочей зоны в этом случае становится максимальным. Высота лопаток практически прямо пропорциональна высоте распылителя, что объясняется равномерностью распределения капель по объему рабочей зоны аппарата (рис. 2, 3). Таким образом, разработанный аппарат с дисковым распылителем позволяет создавать капли требуемых диаметров, что позволит равномерно заполнить всю рабочую зону мелкодисперсными каплями и увеличить эффективность процесса охлаждения оборотной воды.