

По мере усиления глобального водodefицита все активнее на мировом рынке будет развиваться и расширяться сектор технологий интенсивного водопользования – водо-эффективных, водосберегающих и водоохраных [1]. В регионах с ограниченными водными ресурсами для охлаждения технологического оборудования водой широко применяются системы замкнутого циркуляционного водоснабжения [2]. Обеспечить экономию воды из естественных источников позволит использование градирен в составе охлаждающих систем оборотного водоснабжения [3]. Вентиляторные испарительные градирни обеспечивают стабильное охлаждение воды, максимальную удельную тепловую нагрузку и наибольший перепад температуры воды, чем водоохладители других типов. В то же время известные испарительные градирни обладают рядом значительных недостатков – унос капельной влаги, плохая смачиваемость насадок, обледенение вентиляторов и других элементов градирен, засорение форсунок, недостаточно равномерное распределение воды, недостаточная эффективность работы каплеуловителей, небольшая поверхность контакта фаз, высокие эксплуатационные затраты на перекачивание воды и воздуха, коррозия. В связи с этим, актуальной задачей является разработка и исследование новых аппаратов для систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Из предшествующего уровня техники известна эжекционно-вихревая градирня [4], содержащая малый бассейн над вентиляционным каналом, водораспределительный узел выполнен в виде системы эжекторов, инжектирующих дополнительное количество воздуха за счет бросовой энергии водяного потока, а в днище верхнего бассейна смонтированы сопла, реализующие перекрестно-вихревое движение теплоносителей, и в полой нижней части градирни капли витают в вихревом, воздушном потоке, т.е. градирня имеет четыре зоны эффективного теплообмена с вихревым движением потоков теплоносителей. Изобретение позволяет снизить удельное энергопотребление градирни и повысить степень охлаждения оборотной воды. Недостатком эжекционно-вихревой градирни является сложность изготовления конструкции аппарата, наличие большого количества форсунок, способствует отложению загрязнений на поверхности таких элементов, их забиванию и снижению эффективности работы, высокое гидравлическое сопротивление, поскольку система распределения жидкости зависит от энергии потока воздуха. Конструкция градирни типа импульс 7 [5] содержит башню, на боковой поверхности которой расположены воздухоходные окна с форсунками для эжекции охлаждающего воздуха, причем в окнах установлены наклоненные внутрь градирни жалюзи, образующие расположенные ярусами каналы, а форсунки размещены перед входными горловинами последних. Форсунки выполнены акустическими, содержащими корпус с размещенным внутри генератором акустических колебаний в виде сопла и резонатора и трубки для подвода распыливающего

агента и жидкости, причем корпус выполнен в виде стакана с днищем, с размещенным внутри корпуса генератором акустических колебаний в виде полого стержня с клиновой щелью и соплом, при этом жидкость поступает к кольцевому зазору, выполненному между внешней поверхностью резонатора и внутренней поверхностью сопла, причем канал для подвода жидкости расположен тангенциально к внутренней поверхности стакана и выполнен в форме прямоугольной щели, при этом воздух подается через штуцер в корпусе и по отверстию резонатора, а затем поступает, по крайней мере, в одну клиновую щель, расположенную под углом по отношению к оси резонатора, причем величина угла находится в оптимальном интервале величин $30-60^\circ$, а в кольцевом зазоре между внутренней поверхностью стакана и внешней поверхностью резонатора размещено винтовое направляющее устройство, способствующее созданию вихревого потока жидкости, поступающей по каналу. Изобретение позволяет повысить производительность работы градирни. Недостатком является сложность конструкции форсунки, необходимость создания высокого давления подачи жидкости в аппарат, высокое гидравлическое сопротивление градирни, унос капельной влаги. Вертикальная вихревая форсуночная градирня [6] предназначена для охлаждения циркуляционной воды. Изобретение содержит осевой вентилятор с профилированными лопастями, закручивающими поток воздуха, кожух в виде трубы, сепаратор капель воды, поддон для сбора воды, фильтр, циркуляционный насос, гребенку и форсунки для распыления воды внутри объема трубы. Труба выполнена вертикальной с диаметром, равным 400-1200 мм, и в нее подается снизу вверх закрученный вентилятором поток воздуха под углом, равным $30^\circ-60^\circ$, к образующей трубы, а в противоток через форсунки впрыскивается вода. Градирня снабжена уловителем для сбора стекающей по внутренней поверхности трубы пленки воды, причем внизу трубы корпус вентилятора размещен с зазором в уловителе. Изобретение позволяет повысить тепло- и массообмен, достичь компактности. Недостатком изобретения является сложность конструкции, большая металлоемкость, близость электродвигателя вентилятора с водой, большое количество форсунок, требующих высоких эксплуатационных затрат. Для проведения теплообменных процессов, в частности, для охлаждения оборотной воды, может быть использован на предприятиях химической, нефтехимической, энергетической и другой промышленности теплообменный аппарат с комбинированной схемой взаимодействия потоков газа и жидкости [7]. Аппарат состоит из корпуса, внутри которого расположена водораспределительная система, в основании которой установлены трубки для подачи жидкости в шестиугольные каналы регулярной насадки. Блоки регулярной насадки расположены в средней части корпуса аппарата, по всему его поперечному сечению. Причем блоки регулярной насадки состоят из каналов с непосредственным взаимодействием потоков газа

и жидкости в прямотоке и каналов с противоточным движением фаз через стенку канала, в которые жидкость поступает через отверстия в стенках каналов для снижения гидравлического сопротивления. Нижние части каналов выведены в газораспределительную зону аппарата. В верхней части корпуса имеется патрубок для ввода жидкости в аппарат, в средней части – патрубки для вывода потока газа и вывода жидкости, в нижней части – патрубок для ввода газа. Недостатком аппарата является сложность изготовления конструкции. Весьма перспективным в процессе охлаждения оборотной воды промышленных предприятий, по мнению авторов статьи, может быть теплообменное устройство для контакта газа и жидкости в вихревом потоке [8] за счет повышения эффективности процесса охлаждения воды при высоких нагрузках по воздуху при сравнительно низких энергетических затратах на его проведение. Теплообменное устройство для контакта газа и жидкости в вихревом потоке, представленное на рис. 1, состоит из корпуса 1, выполненного в форме усеченного конуса, патрубка 2 для выхода газожидкостной смеси на сепарацию, расположенного в нижней части устройства, патрубков для входа 3 и выхода 4 жидкости, тангенциально-лопаточного завихрителя 5 и форсунки 6, обеспечивающей объемный факел распыла жидкости. Форсунка 6 [9] расположена в устройстве перед входным патрубком 3 для подачи жидкости. Устройство имеет коническое днище без перфорации 7 и коническое днище с перфорацией 8. Причем в стенке конического днища с перфорацией отверстия 9 выполнены для отвода стекающей по внутренней поверхности корпуса жидкости. Рис. 1 – Теплообменное устройство для контакта газа и жидкости в вихревом потоке: 1 – корпус, 2 – патрубок для выхода газожидкостной смеси на сепарацию, 3 – патрубок для входа жидкости, 4 – патрубок для выхода жидкости, 5 – тангенциально-лопаточный завихритель, 6 – форсунка, 7 – коническое днище без перфорации, 8 – коническое днище с перфорацией, 9 – отверстия для отвода стекающей по внутренней поверхности корпуса жидкости. Теплообменное устройство для контакта газа и жидкости в вихревом потоке работает следующим образом (рис. 1): жидкость поступает в аппарат через патрубок 3, расположенный в верхней части устройства. Далее жидкость, попадая на форсунку 6, отбрасывается в разных направлениях, образуется объемный факел распыла. Газ попадает в устройство через лопаточный тангенциальный завихритель 5, приобретая при этом вращательное движение. Вращаясь, поток газа перемещается к центру аппарата, дробит капли жидкости на более мелкие, при этом капли вовлекаются в совместное вращательное движение. Такой характер взаимодействия газа и капель жидкости приводит к образованию в рабочей зоне устройства мелкодисперсного вращающегося капельного слоя, что увеличивает поверхность межфазного взаимодействия и интенсивность процесса охлаждения. Газожидкостная смесь удаляется через

центральный патрубок 2, расположенный в нижней части устройства, на сепарацию. Под действием центробежной силы жидкость отбрасывается к стенкам устройства, при этом двигаясь в виде пленки по коническому днищу с перфорацией 8. Далее жидкость стекает вниз под действием гравитационных сил через отверстия 9, выполненные в стенке днища с перфорацией 8, попадает на поверхность днища без перфорации 7, после чего охлажденная жидкость выводится из устройства через патрубок 4. Достоинством разработанного устройства является простая конструкция, высокая эффективность охлаждения жидкости, снижение металлоемкости и эксплуатационных затрат на обслуживание форсунки, отсутствие мелких проходных сечений исключает их засорение.