

Тенденции потребления воды промышленным сектором Российской Федерации на нужды производства сегодня таковы, что использование оборотной воды составляет примерно от 60 до 80% от общего потребления воды [1]. Таким образом, главной составляющей схем рационального и эффективного использования водных ресурсов являются градирни, работающие в водооборотных охлаждающих системах, что дает возможность повысить экономические показатели промышленных предприятий [2]. Градирня представляет собой основное оборудование для охлаждения оборотной воды промышленных и энергетических предприятий. Согласно данным [3] градирни классифицируют: 1) по способу передачи тепла атмосферному воздуху на: испарительные, в которых теплопередача от воды к воздуху происходит, прежде всего, за счет испарения; радиаторные, иначе сухие, в них теплопередача организуется через стенку радиаторов за счет теплопроводности и конвекции; смешанные - в них используется теплопередача испарением, теплопроводностью и конвекцией; 2) по способу перемещения воздуха через контактные устройства градирни: вентиляторные, через которые воздух перекачивается при помощи вентилятора; башенные, в которых тяга воздуха организовывается за счет подбора необходимой высоты башни; открытые, или атмосферные, в которых для воздуха движется благодаря естественным воздушным потокам - ветер и отчасти естественная конвекция. В радиаторных градирнях нижней границей температуры охлажденной воды может быть температура атмосферного воздуха по сухому термометру, а в испарительных градирнях - температура воздуха по влажному термометру, которая, как известно, может быть ниже температуры по сухому термометру на несколько градусов. Испарительные градирни организуют более эффективное охлаждение воды по сравнению с радиаторными и могут быть изготовлены из более дешевых и не столь дефицитных материалов [3]. Охлаждение воздуха в сухих градирнях обладает одним из недостатков - это то что производительность по охлажденной воде существенно зависит от температуры атмосферного воздуха, которая, к сожалению, нестабильна в течение года, да и на протяжении суток. С целью организации их более устойчивой работы необходимо обеспечить постоянную тепловую нагрузку, а при холодном наружном воздухе в особенности. Во время работы промышленных предприятий и паротурбинных установок ТЭЦ возможна существенная нестабильность отбора и подачи тепла на сухие градирни, что влечет за собой огромный риск замерзания и выхода из строя дорогого теплообменного оборудования. Сухие градирни не столько широко применяются в производстве, как испарительные, это связано с их дороговизной, небольшой производительностью и значительным энергопотреблением. Цена радиаторной градирни более чем в 5 раз превышает стоимость градирни испарительного типа при равной тепловой нагрузке [4]. Градирни также классифицируют по конструктивным типам оросительных

устройств и способу достижения наибольшей поверхности контакта воды с воздухом, так различают градирни пленочные, капельные и брызгальные. Все представленные типы градирен могут отличаться весьма различной конструкцией, как отдельных элементов оросительного устройства, так и типоразмерным рядом и расстоянием между ними, также они могут быть изготовлены из разнообразных материалов. Для открытых атмосферных градирен удельная гидравлическая нагрузка по расчетным данным не должна превосходить от 3 до 5 м³/(м²·ч). Влияние силы и направления ветра на охлаждающую способность открытых градирен сужает условия их применения [3]. Градирни башенного типа организуют немалую площадь испарения и их рентабельно применять при охлаждении воды в количестве более 6000 м³ в час. Забор воздуха и его подача в башенные градирни происходит без помощи вентиляторов, а осуществляется ветром или естественной тягой. Немалая площадь, занимаемая такими градирнями, а также большая стоимость являются их несомненным недостатком. Однако к преимуществам можно отнести простоту в эксплуатации, экономичность работы, возможность размещения в непосредственной близости к промышленному объекту за счет отвода влажного воздуха на внушительной высоте [5]. При решении оригинальных технических задач применяют гибридные градирни. Они могут работать в «сухом» и «мокроем» режимах, что дает возможность уменьшения выброса пара из градирни. При эксплуатации гибридной градирни в «сухом» режиме, когда температура наружного воздуха довольно низкая, снижается количество потребляемой воды и в среднем уменьшается объем парового факела [6]. Установлено, что технологические и технико-экономические показатели работы гибридных градирен превосходят показатели работы радиаторных градирен, при этом показатели испарительных градирен остаются всё же лучшими. К основным недостаткам гибридных градирен относят сложность проектирования и их строительства, высокие требования к обслуживанию градирен при эксплуатации и систем водооборота в целом. Внутренние стенки труб радиаторов покрываются отложениями, при этом ребрения труб загрязняются, что ведет к росту теплового сопротивления. Это способствует возможным нарушениям расчетных режимов работы сухой и испарительной частей градирни, возникновению аварийных ситуаций, особенно в зимний период времени [7]. В настоящее время всё чаще возникает проблема перед специалистами предприятий разных отраслей промышленности, 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 работает градирня 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 [8]. Не стоит забывать, что нередко капитальный ремонт градирен очень дорогостоящий, его стоимость на 20-40% превышает расхода на строительство новой промышленной градирни. При этом затраты при эксплуатации существующей системы охлаждения за весь срок службы в несколько раз превосходят капитальные затраты на её создание [9]. Испарительные градирни вентиляторного типа, обеспечивая стабильность охлаждения оборотной воды, имеют наибольший перепад температуры воды и максимальную удельную тепловую нагрузку, чем аппараты для охлаждения воды других типов. Тем не менее известные испарительные градирни имеют существенные недостатки, а именно, плохая смачиваемость насадочных элементов, недостаточные равномерность распределения воды и эффективность работы каплеуловителей, что ведет к уносу капельной влаги из аппарата, обледенение вентиляторов и других элементов градирен, засорение форсунок, малая поверхность контакта взаимодействующих фаз, большие эксплуатационные затраты на перекачивание воды и потока воздуха, коррозия оборудования. В связи с этим, весьма актуальной задачей является разработка технологического процесса охлаждения оборотной воды и его аппаратного оформления. 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 [10]. Рис. 1 - Схема вихревой камеры 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. Диски расположены в несколько рядов по всей высоте распылителя. 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, с каждого уровня дисков распылителя 2 срываются капли воды и с большой скоростью направляются в рабочую зону аппарата, полностью заполняя её. 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 тепломассообменная эффективность процесса.

Лопастей 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 его тягу в камеру через завихритель 5. Под действием центробежной, гравитационной сил и силы аэродинамического сопротивления капли воды движутся к коническому днищу аппарата по равновесным траекториям. Достигнув поверхности конического днища с перфорацией, вода стекает вниз через отверстия и 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, в отличие от конструкции, представленной в работе [11], позволяет эффективно осуществить сепарацию воды и воздуха, исключает необходимость 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, так как лопасти находятся в непосредственной близости от рабочей зоны. Созданием нисходящего потока частично компенсируется сила тяжести вала, что снижает нагрузку на его крепление. Равномерное распределение воды обеспечивается созданием полидисперсного потока капель, которые движутся по равновесным траекториям. За счет высокой частоты вращения дискового распылителя (до 10000 об/мин) возможно образование капель диаметром менее 100 мкм и, следовательно, создание большой удельной поверхности контакта фаз. Таким образом, энергия воздуха не тратится на подъем жидкости и на подъем самого воздуха, поэтому гидравлическое сопротивление аппарата относительно низкое и нет необходимости в установке лопастей большого диаметра. Кроме того, в случае необходимости вентилятор может иметь несколько ступеней. Энергия, затрачиваемая на перекачивание воды, в разработанном авторами аппарате снижается по сравнению с градирнями других конструкций, т.к. что разбрызгивание и распределение жидкости в объеме производится за счет энергии внешнего привода.