

В.В. Киреев

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭСП В ВОЗДУШНО-ИСПАРИТЕЛЬНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

В статье представлены результаты модернизации воздушно-испарительного конденсатора с охлаждением в ЭСП, испарительного конденсатора с охлаждением оборотной воды в открытой градирне с применением ЭСП, которые прошли промышленные испытания в ОАО «Мясокомбинат Иркутский». Предложенные конструктивные решения центробежно-струйных форсунок позволяют обеспечить надежную работу воздушных и испарительных конденсаторов, экономии воды и равномерность распыления охлаждающей среды.

Электростатическое поле, охлаждение, воздушно-испарительный конденсатор, форсунка.

### Введение

Интенсификация процесса теплообмена в холодильной технике – один из наиболее эффективных способов снижения энергозатрат. Одним из способов интенсификации теплообмена является применение электротехнологий [1], использующих действие сильных электрических полей. На современных промышленных предприятиях применяются различные технологические процессы, в которых выделяется большое количество тепла. Количество отвода тепла от технологического оборудования пропорционально росту промышленного производства и в настоящее время составляет сотни миллионов киловатт тепла.

В химических и пищевых производствах до 70 % теплообменников применяют для сред жидкость – жидкость и пар – жидкость при давлениях до 1 МПа и температурах до 473 К. Для этих условий разработаны и серийно изготавливаются теплообменные аппараты общего назначения: воздушные, испарительные и водяного охлаждения. Теплообменный аппарат, в котором происходит охлаждение и конденсация паров хладагента вследствие отвода теплоты охлаждающей водой или воздухом, называют конденсатором. Конденсация пара происходит при соприкосновении его с охлаждающей средой через стенку, температура которой ниже температуры насыщения пара, соответствующей давлению в аппарате.

Существенные проблемы при эксплуатации воздушно-испарительных конденсаторов вызывают отложения на теплообменных поверхностях накипи в комплексе с продуктами биологического происхождения, коррозией и пылью из воздуха. Загрязнение конденсатора приводит к снижению охлаждающей способности теплообменной поверхности за счет увеличения аэродинамического сопротивления прохождению воздуха и, соответственно, уменьшению его расхода. Солевым отложениям и загрязнению наиболее подвержены испарительные конденсаторы с малым шагом оребрения и, соответственно, с малыми каналами для прохода воды и воздуха. Применение ЭСП (электростатического поля) резко повышает отбор тепла от поверхности труб, внутри которых циркулирует охлаждаемая среда, снижает расход воды, сокращает продолжительность процесса и предупреждает загрязнение конденсатора. Задача интенсификации процессов теплообмена и создания высокоэффективных теплообменных аппаратов воздуш-

ного охлаждения является весьма актуальной в современной энергетике. Трудность выполнения этой задачи заключается не только в достижении высоких теплоаэродинамических показателей, но и в том, что, помимо этого, теплообменные аппараты должны быть надежными в эксплуатации, просты по конструкции, технологичны в изготовлении, иметь малые габариты и небольшую стоимость. Возможность изготовления теплообменной аппаратуры из дешевых недефицитных материалов является также не менее важной.

**Объекты исследований** – теплообменные аппараты испарительного типа с применением ЭСП.

### Результаты и их обсуждение

Автором был разработан воздушно-испарительный конденсатор с охлаждением в ЭСП, который прошел промышленные испытания в ОАО «Мясокомбинат Иркутский» в 2008 году. Реконструкция действующего конденсатора ЭКА 400 была осуществлена путем установки между водяными форсунками и трубным пучком высоковольтного электрода. Для повышения безопасности эксплуатации конденсатора стенки корпуса возле высоковольтного электрода имели диэлектрическое покрытие. Схема воздушно-испарительного конденсатора представлена на рис. 1.

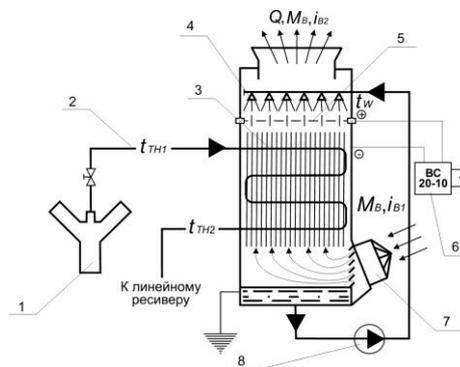


Рис. 1. Воздушно-испарительный конденсатор: 1 – компрессор холодильной машины; 2 – нагнетательный трубопровод; 3 – трубный пучок; 4 – форсунки; 5 – высоковольтный электрод; 6 – блок питания; 7 – вентилятор; 8 – насос контура охлаждения технологической воды

Горячие пары аммиака из компрессора 1 с температурой  $t_{TH1}$  поступают в трубный пучок 3, где охлаждаются до температуры  $t_{TH2}$ , и смесь пара и жидкости

поступает в линейный ресивер. В этой системе контур циркуляции технологической воды является замкнутым и закрытым. С помощью насоса контура охлаждения технологической воды 8 по трубам подается вода к форсункам 4, из которых распыленные частички воды попадают в электростатическое поле (ЭСП).

ЭСП создается высоковольтным электродом 5, который выполнен в виде изолированной от металлического корпуса металлической сетки. Причем напротив каждой форсунки 4 расположены металлические иглы.

ЭСП создает многократное дробление капель, эффективную турбулизацию пленки воды, стекающей по трубам, а также обеспечивает бактерицидную чистоту системы. Частички воды стекают вниз по пластинчатым ребрам, надетым на трубный пучок 3, в виде орошаемой пленки. Стекающая пленка воды отбирает тепло от поверхности труб и часть тепла передает циркулирующему воздуху. В результате температура орошаемой воды на входе и выходе из аппарата поддерживается постоянной.

Воздух, проходящий через испаритель, воспринимает только тепло от пленки воды, и его состояние изменяется от  $i_{B1}$  до  $i_{B2}$ .

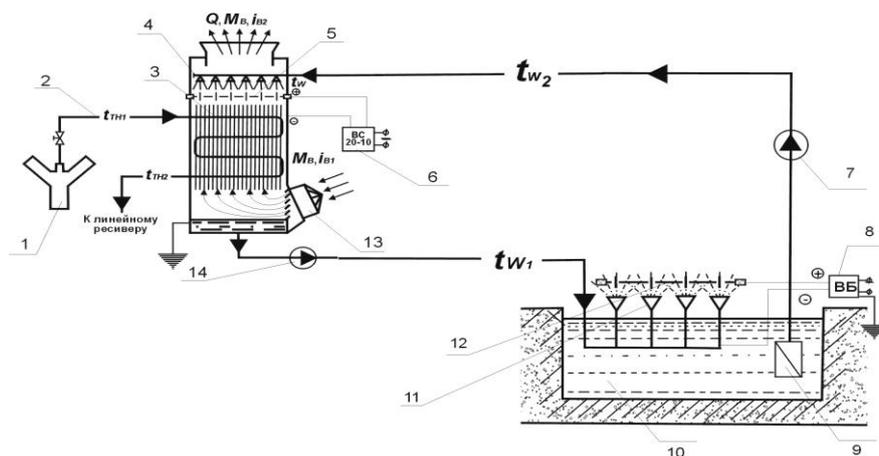


Рис. 2. Испарительный конденсатор с охлаждением оборотной воды в открытой градирне с применением ЭСП

В этой системе аммиак из компрессора 1 с температурой  $t_{TH1}$  поступает в трубный пучок аппарата воздушно-оросительного охлаждения 3, где охлаждается до температуры  $t_{TH2}$ . Воздух в нагнетательную камеру аппарата подается с помощью вентилятора 13, где он воспринимает тепло от оребренного трубного пучка 3, и температура его изменяется от  $t_{B1}$  до  $t_{B2}$ . Трубный пучок располагается в кожухе аппарата горизонтально. Циркуляционная вода, получившая в теплообменном аппарате тепло, при помощи насоса 14 поступает в форсунки 11 и разбрызгивается над поверхностью бассейна. Распыленная вода, проходя через высоковольтный электрод 12 в виде сетки, заряжается и вступает в контакт с воздухом. В результате происходит ее охлаждение от температуры  $t_{Tw1}$  до температуры  $t_{Tw2}$ . Охлаждение воды происходит при соприкосновении воды и атмосферного воздуха за счет тепло- и массообмена между ними. Плотность теплового потока при этом составляет от 3 до 7 кВт на 1 м<sup>2</sup>. Охлажденная вода через фильтр 9 при помощи насоса 7 поступает на форсунки 4, получает заряд от

Особенность пленки воды, образованной струей капель, состоит в том, что капли непрерывно возмущают пленку, внося в нее жидкую массу. Интенсивность воздействия потока капель на пленку зависит от изменения коэффициента теплоотдачи от теплообменной поверхности при испарительном охлаждении в ЭСП [2].

В результате испытаний выявлено, что применение ЭСП напряженностью 2,5–4 кВ/м позволило обеспечить:

- прекращение роста микроорганизмов;
- разрушение водяного камня;
- снижение температуры аммиака после конденсатора на 1,5 К по сравнению с таким же конденсатором без воздействия ЭСП.

В качестве высоковольтного блока применен трансформатор НТМИ-10.

Представляется интересным применение ЭСП не только в испарительных конденсаторах, но и в градирнях различного типа. На рис. 2 представлен испарительный конденсатор и устройство для оборотного охлаждения воды с применением ЭСП.

высоковольтного электрода, закрепленного на изоляторах 5, и вступает в контакт с поверхностью трубного пучка.

В данном комплексе впервые реализована схема работы аммиачного конденсатора с брызгальной градирней в ЭСП.

Глубину охлаждения воды и тепловую нагрузку градирни определяет величина ЭСП, а также соотношение расходов воды и воздуха, проходящих через градирню. Использование открытых градирен с ЭСП в качестве охладителей оборотной воды позволяет в зависимости от температуры воды и расхода воздуха получить температуру охлажденной воды на 2–3 К выше теоретического предела охлаждения воздуха.

Кроме того, при разработке испарительного конденсатора особое внимание уделялось конструкции распылительных форсунок, технические решения которых взяты на основании проведенных исследований [2].

Форсунки для распыления воды (рис. 3а) состоят

из корпуса 1, к которому подводится жидкость. При распыливании жидкость выходит через кольцевую щель и попадает на электрод 3, капли жидкости заряжаются и затем диспергируются на более мелкие частицы. При таком способе распыления заряды,

приобретенные каплями, вызывают некоторое увеличение поверхностной энергии капель и их охлаждение. Поверхностная энергия распыляемых капель зависит от величины аэродинамических сил и от напряженности электростатического поля [3, 4].

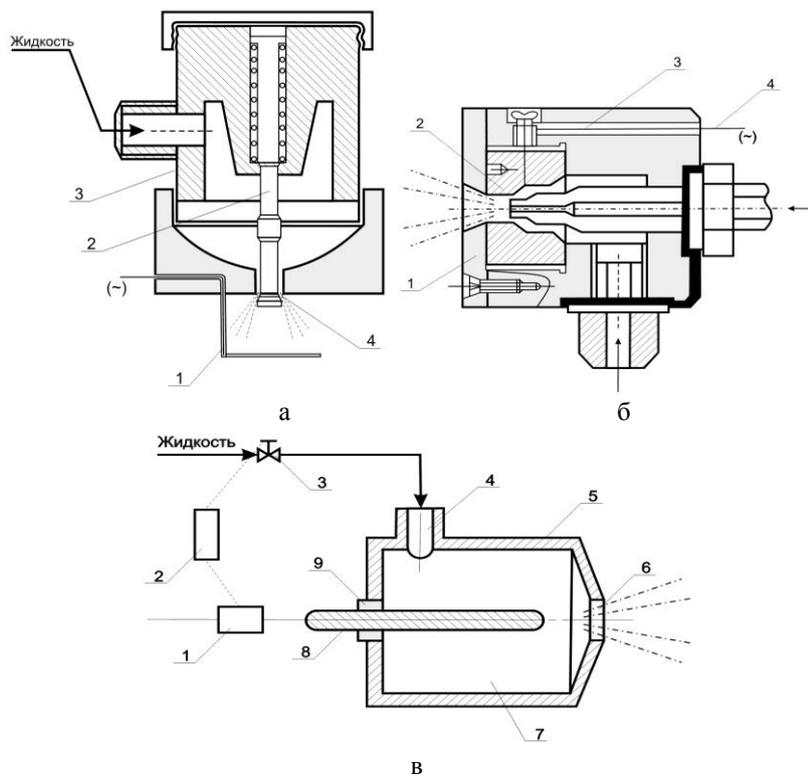


Рис. 3. Форсунки для распыления воды: а – гидравлическая; б – пневматическая; в – центробежно-струйная

На рис. 3б приведена схема пневматической форсунки. Воздух, выходя из сопла, создает разрежение во внутренней полости форсунки, в результате чего вода устремляется к выходу сопла, где происходит электростатическая зарядка и распыление охлаждающей среды. Электрод 1, смонтированный в кольцевом изоляторе, установлен на внешней поверхности корпуса. У острых кромок электрода развивается заряд. Между электродом и охлаждаемой поверхностью образуется электростатическое поле, в результате чего частицы принудительно и равномерно осаждаются на охлаждаемой поверхности.

Форсунка включает корпус 5, камеру распылителя 7, тангенциальные каналы подвода жидкости 4, сопловое отверстие 6, центральный стержень 8, изоляционную проставку 9, регулятор давления подаваемой жидкости 3, регулятор напряженности электрического поля 1, устройство связи регуляторов напряженности 2.

На рис. 3в изображен продольный разрез центробежно-струйной форсунки.

Работа осуществляется следующим образом. Жидкость под давлением через регулятор давления 3 поступает в камеру распылителя 7 по тангенциальным каналам 4, расположенным в корпусе форсунки 5. Напротив соплового отверстия 6 установлен центральный стержень 8, изолированный электрически от корпуса 5 изоляционной проставкой 9. Диаметр центрального стержня несколько больше диаметра воз-

душного вихря, образующегося в сопловом отверстии 6 в результате закрутки потока жидкости в камере распылителя. Расстояние от конца центрального стержня 8 до входа в сопловое отверстие 6 равно диаметру последнего. Внутренние слои жидкости затормаживаются вследствие трения о центральный стержень и создают радиальное распределение скорости жидкости в сопловом отверстии, чем обеспечивается заполнение факела.

Дополнительно в форсунке осуществляется электризация распыляемой жидкости подводом электрического потенциала к центральному стержню или к корпусу форсунки. Таким образом, струя жидкости находится в электрическом поле. Под действием этого поля на поверхности пленки жидкости происходит некоторое распределение давлений, деформирующее пленку и вызывающее потерю ее устойчивости, приводящее к распаду ее с образованием мелких капель жидкости. Образующиеся капли приобретают электрический заряд. При этом уменьшается их собственное внутреннее давление, а соответственно и поверхностное натяжение.

С уменьшением внутреннего давления капель увеличивается эффективность воздействия аэродинамических сил, что резко увеличивает силы взрыва капли. Чем больше напряженность электрического поля, тем сильнее взрыв и мельче брызги разрушенной капли. Таким образом, подвод электрического

потенциала к форсунке способствует получению дисперсных частиц распыляемой жидкости.

Поскольку при снижении производительности форсунки за счет уменьшения давления подводимой для распыла жидкости дисперсность получаемых капель увеличивается и сохранить качество распыла жидкости можно путем увеличения подводимого электрического потенциала, т.е. воздействием на регулятор давления подаваемой жидкости, происходит одновременное воздействие на регулятор напряженности электрического поля 1 устройством 2. Причем уменьшение давления подводимой жидкости сопро-

вождается увеличением подводимого электрического потенциала (и наоборот).

### **Выводы**

Данные конструктивные решения центробежно-струйных форсунок позволяют обеспечить надежную работу воздушных и испарительных конденсаторов, экономию воды и равномерность распыления охлаждающей среды. Экономический эффект от внедрения ЭСП в воздушно-испарительном конденсаторе за 6 месяцев 2008 года составил 460 тыс. рублей.

### **Список литературы**

1. Бабакин, Б.С. Электротехнология в холодильной промышленности: монография / Б.С. Бабакин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 208 с.
2. Киреев, В.В. Научные основы и практические результаты повышения эффективности теплообменных аппаратов: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Киреев Владимир Васильевич. – Ангарск: АГТА, 2006. – 46 с.
3. Киреев, В.В. Анализ эффективности охлаждения в кристаллоаэрозольном потоке // Математические методы в технике и технологиях: 16 Междунар. науч. конф.: сб. тр. – Т. 8. – 2003. – С. 23–24.
4. Киреев, В.В. Моделирование теплообмена в воздушно-испарительном охладителе при воздействии электростатического поля // Вестник Международной академии холода. – 2003. – № 4. – С. 10–12.

ФГБОУ ВПО «Ангарская государственная  
техническая академия»,  
665835, Россия, Иркутская обл.,  
г. Ангарск, ул. Чайковского, д. 60.  
Тел./факс: (3955) 67-18-32  
e-mail: web@agta.ru

### **SUMMARY**

**V.V. Kireev**

#### **APPLICATION OF ELECTRO-STATIC FIELD (ESF) IN AIR-EVAPORATION CONDENSER OF REFRIGERATING MACHINES**

This article presents the results of modernization of the air-evaporation condenser cooling in ESF, evaporation condenser cooling the circulating water in water cooling tower using ESF, tested at SLL «Myasokombinat Irkutskiy». The proposed constructive solutions of centrifugal-jet nozzles provide reliable performance for air and evaporation condensers, water saving and the uniformity of cooling medium spraying.

Electro-static field, cooling, air-evaporation condenser, nozzle.

Angarsk State Technical Academy  
665835, Angarsk, Irkutsk region  
Tchaikovsky street, 60  
Phone/Fax: (3955) 67-18-32  
e-mail: web@agta.ru