

ОХЛАЖДЕНИЕ ВОДЫ В ГРАДИРНЕ ДО ТОЧКИ РОСЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

В.А. Арсирій., Тамер Н.А. Баннура. Охолодження води в градирне до точки роси атмосферного повітря. Представлені дослідження по розробці способу охолодження води в градирне з межею охолодження рівним точці роси атмосферного повітря. Запропоновано атмосферне повітря заздалегідь охолоджувати в пристрої комбінованого використання прямоточного і регенеративного непрямого випарного охолодження.

В.А. Арсирій, Тамер Н.А. Баннура. Охлаждение воды в градирне до точки росы атмосферного воздуха. Представлены исследования по разработке способа охлаждения воды в градирне с пределом охлаждения равным точке росы атмосферного воздуха. Предложено атмосферный воздух предварительно охлаждать в устройстве комбинированного использования прямоточного и регенеративного непрямого испарительного охлаждения.

V.A. Arsiry., Tamer N.A. Bannura. Water cooling in a tower-cooler to the dew point of atmospheric air. Research on development of the method of water cooling in a tower-cooler with the limit of cooling equal to the dew point of atmospheric air is presented. It is offered to preliminary cool the atmospheric air in the device of the combined use of directflow and regenerative indirect evaporative cooling methods.

В регионах с ограниченными водными ресурсами для охлаждения технологического оборудования водой широко применяются системы замкнутого циркуляционного водоснабжения [1]. Циркуляционная вода с температурой $t_{ц.в1}$ подается для охлаждения оборудования и нагревается при этом до температуры $t_{ц.в2}$. Для повторного использования воду охлаждают атмосферным воздухом до исходной температуры, которая всегда выше температуры атмосферного воздуха $t_{а.в}$. Поэтому $t_{ц.в1}$ можно считать *реальной температурой охлаждения воды*, а температуру атмосферного воздуха $t_{а.в}$ можно считать *предельной температурой охлаждения воды* $t_{пред}$. Качество способа охлаждения воды характеризуется перепадом температур $\Delta t = t_{ц.в1} - t_{пред}$.

Простым и экономичным способом охлаждения циркуляционной воды считается сухое охлаждение (СО) в теплообменниках [1], при котором температура атмосферного воздуха $t_{а.в}$ является предельной возможной температурой охлаждения воды. В регионах с жарким климатом способы СО не обеспечивают необходимую температуру охлаждения воды, что приводит к ухудшению параметров работы технологического оборудования.

В последнее время в системах замкнутого циркуляционного водоснабжения применяются испарительные системы охлаждения — градирни, где вода охлаждается при прямом контакте с воздухом, использующие способ прямого испарительного охлаждения (ПИО) [2]. При насыщении атмосферного воздуха парами воды его энергосодержание, или энтальпия I , не изменяется, однако изменяются абсолютная влажность d и относительная влажность ϕ , снижается температура. Энергия сухой части воздуха перераспределяется на процесс испарения воды. Процесс насыщения воздуха парами воды прекращается при достижении относительной влажности воздуха $\phi = 100\%$. При этом, как отмечалось, энтальпия увлажненного воздуха $I = \text{const}$, а температура воздуха $t_{а.в}$ снижается до точки мокрого термометра $t_{м.т}$. Поэтому предельной температурой $t_{пред}$ охлаждения воды в градирне, использующей способ ПИО, является температура мокрого термометра $t_{м.т}$ атмосферного воздуха.

Таблица 1

*Изменение температуры циркуляционной воды в современных систем охлаждения;
 начальные параметры атмосферного воздуха $t_{а.в} = 37^\circ\text{C}$; $d = 13 \text{ г/кг}$*

Способ охлаждения циркуляционной воды		Предельная температура охлаждения воды $t_{пред}$, $^\circ\text{C}$	Перепад температур Δt , $^\circ\text{C}$	Реальная температура охлаждения воды $t_{ц.в1}$, $^\circ\text{C}$
Сухое охлаждение СО	прямоточное	$t_{а.в} = 37^\circ\text{C}$	15	52
	противоточное		10	47

Прямое испарительное охлаждение ПИО	атмосферное	$t_{м.т} = 24^{\circ}\text{C}$	12	37
	с естественной тягой		10	34
	с вентилятором		8	32

Анализ изменения параметров атмосферного воздуха, который подается для охлаждения циркуляционной воды известными способами, показал, что предельная температура $t_{\text{пред}}$ охлаждения воды и перепад температур Δt определяются способом охлаждения воды и параметрами атмосферного воздуха (табл. 1). Применение градирен, использующих способ ПИО, в странах с жарким климатом часто не обеспечивает требуемых результатов, т.к. в жаркое время технологические элементы оборудования имеют недопустимо высокую температуру.

С целью улучшения охлаждающей способности атмосферного воздуха в системах охлаждения оборудования циркуляционной водой проведено исследование известных способов непрямого испарительного охлаждения (НИО) воздуха. Главной задачей теоретических исследований процессов НИО является обеспечение охлаждения воды в градирне до $t_{\text{пред}}$ равной точке росы атмосферного воздуха. Конструктивной особенностью НИО является использование двух типов чередующихся каналов — сухих и влажных, где воздух по-разному изменяет свои параметры. Чередование каналов выполняется с использованием специального материала, например, мипласта, у которого одна сторона имеет капиллярно-пористую поверхность, способную впитывать и сохранять в своей структуре воду, а другая — водонепроницаемую. Во влажных каналах температура воздуха при постоянной энтальпии снижается за счет его контакта со смоченной водой капиллярно-пористой поверхностью. В сухих каналах воздух изолирован от контакта с водой, и его температура и энтальпия снижаются за счет трения о стенку канала, которая имеет температуру, определяемую процессами в соседних влажных каналах.

Известен способ проточного непрямого испарительного охлаждения П.НИО [2, 3] воздуха, в котором атмосферный воздух подается одновременно во влажные и сухие каналы (рис. 1).

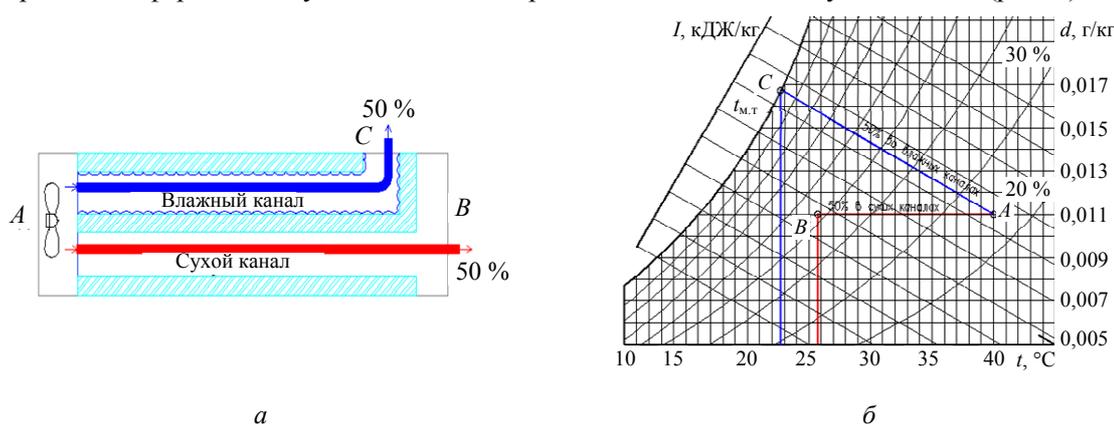


Рис. 1. Способ проточного непрямого испарительного охлаждения: схема реализации (а); I - d диаграмма процессов (б); А — наружный атмосферный воздух; В — охлажденный воздух; С — вспомогательный воздух; АВ — движение воздуха в сухих каналах; АС — движение воздуха во влажных каналах; $t_{м.т}$ — температура воздуха по мокрому термометру

При движении во влажных каналах атмосферный воздух контактирует с влажной капиллярно-пористой поверхностью стенок, поэтому его относительная влажность ϕ достигает 100 %, и при энтальпии $I = \text{const}$ температура атмосферного воздуха $t_{а.в}$ снижается до температуры мокрого термометра $t_{м.т}$. В сухих каналах движение воздуха проходит без контакта с водой и без изменения его абсолютной влажности d . За счет трения об охлажденную стенку в сухом канале температура атмосферного воздуха $t_{а.в}$ также может снизиться до температуры мокрого термометра $t_{м.т}$, но при этом снижается и его энтальпия I .

Анализ процессов изменения параметров воздуха в сухих и влажных каналах в координатах I - d диаграммы показал, что из-за малых аэродинамических сопротивлений П.НИО обеспечивает подачу достаточного количества воздуха для охлаждения воды в градирне. Однако, пределом охлаждения циркуляционной воды, как и при ПИО, является температура мокрого термометра $t_{м.т}$. Поэтому, затраты на внедрение П.НИО нецелесообразны, т.к. параметры работы П.НИО сопоставимы с параметрами ПИО (см. таблицу 1).

Известен способ регенеративного непрямого испарительного охлаждения Р.НИО, который обеспечивает предельную температуру охлаждения воздуха $t_{\text{пред}} = t_{т.р}$ [4, 5]. В охладительном устройстве Р.НИО атмосферный воздух подается только в сухие каналы, после прохождения

которых 50% его распределяется во влажные каналы и 50% — в зону контакта с циркуляционной водой в градирне (рис. 2).

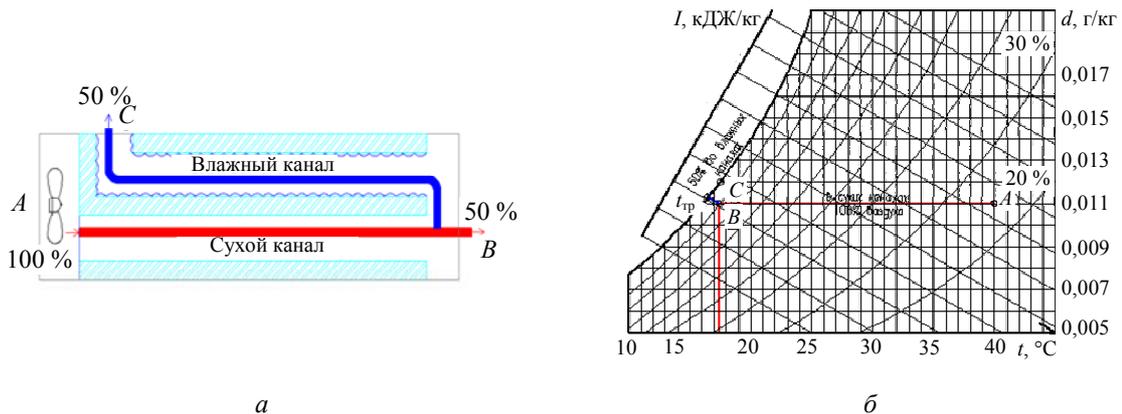


Рис. 2 Способ регенеративного непрямого испарительного охлаждения: схема реализации (а); I - d диаграмма процессов (б); AB — движение воздуха в сухом канале; BC — движение воздуха во влажном канале; $t_{тр}$ — температура точки росы

В сухих каналах воздух охлаждается при $d = \text{const}$, поэтому предельной температурой его охлаждения будет точка росы $t_{пред} = t_{тр}$. В регионах с жарким климатом при Р.НИО температура предварительно охлажденного воздуха, и соответственно $t_{ц.в.1}$ может быть на $7...10$ °С ниже, чем при П.НИО.

Однако из-за высоких значений аэродинамических сопротивлений распределения воздуха на выходе охладительного устройства Р.НИО объем воздуха для охлаждения циркуляционной воды будет существенно меньше, чем в системах с П.НИО, т.е. недостаточным для охлаждения воды в градирне.

Для увеличения производительности устройства предварительного охлаждения воздуха для подачи в градирню предлагается способ комбинированного непрямого испарительного охлаждения воздуха К.НИО, совмещающий использование в одном устройстве П.НИО и Р.НИО. В конструкции К.НИО воздух перераспределяется между сухими и влажными каналами дважды — на входе и выходе устройства (рис. 3).

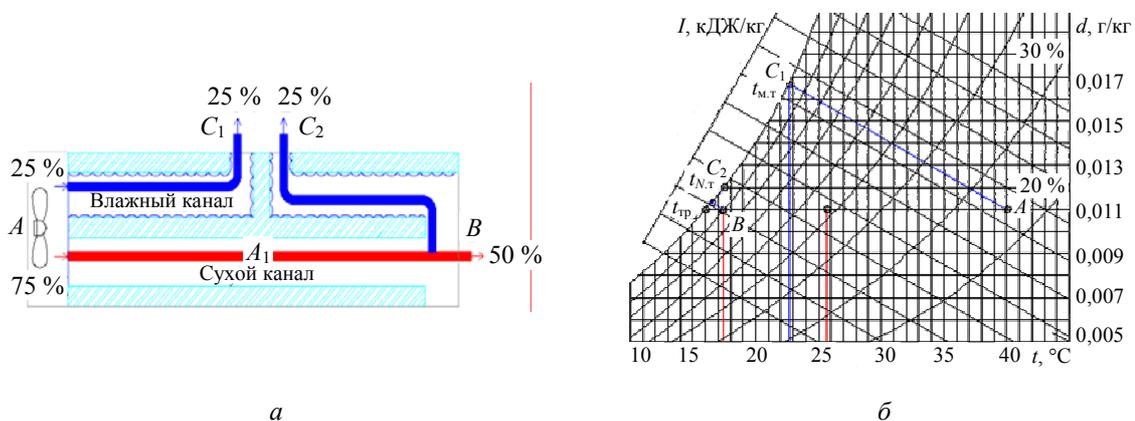


Рис. 3 Способ комбинированного непрямого испарительного охлаждения воздуха: схема реализации (а); I - d диаграмма процессов (б); AB — движение воздуха в сухом канале; AC_1 — движение воздуха во влажном канале П.НИО; BC_2 — движение воздуха во влажном канале Р.НИО; $t_{тр}$ — температура точки росы

В процессе предварительного охлаждения воздух делится дважды — на входе охладительного устройства и на выходе. Атмосферный воздух объемом Q_A на входе устройства в точке A делится на два потока. Первый поток атмосферного воздуха $Q_{AC1} \approx 25\% Q_A$ подается во влажные каналы AC_1 , где реализуется способ П.НИО, и воздух охлаждается до $t_{м.т}$. Второй поток объемом $Q_{AB} \approx 75\% Q_A$ подается в сухие каналы AB , где воздух охлаждается до $t_{тр}$. На выходе К.НИО в точке B охлажденный воздух делится еще раз. Второй поток охлажденного воздуха $Q_{BC2} \approx 25\% Q_A$, подается во влажные каналы BC_2 , где реализуется способ Р.НИО и воздух охлаждается до $t_{тр}$. Третий поток охлажденного воздуха $Q_B \approx 50\% Q_A$, подается для охлаждения циркуляционной воды в градирне (табл. 2).

Таблица 2

Изменение температуры циркуляционной воды в градирне с предварительным охлаждением атмосферного воздуха; начальные параметры атмосферного воздуха $t_{a.в.} = 37^{\circ}\text{C}$; $d = 13 \text{ г/кг}$

Способ предварительного охлаждения атмосферного воздуха		Предельная температура охлаждения воды $t_{\text{пред.}}, ^{\circ}\text{C}$	Перепад температур Δt , $^{\circ}\text{C}$	Реальная температура охлаждения воды $t_{\text{ц.в.}}, ^{\circ}\text{C}$
Прямое испарительное охлаждение с вентилятором		$t_{\text{м.т}} = 24^{\circ}\text{C}$	7	31
Непрямое испарительное охлаждение	П.НИО	$t_{\text{м.т}} = 24^{\circ}\text{C}$	5	29
	Р.НИО	$t_{\text{т.р}} = 17^{\circ}\text{C}$	5	22
	К.НИО	$t_{\text{т.р}} = 17^{\circ}\text{C}$	3	20

Таким образом, способ К.НИО может быть использован для предварительного изменения параметров атмосферного воздуха перед подачей в градирню, что понизит предел охлаждения циркуляционной воды оборотной системы охлаждения оборудования до температуры точки росы. В жарких регионах это позволит увеличить производительность оборудования, при этом повысится надежность его работы.

Литература

1. Фарфаровский, Б.С. Охладители циркуляционной воды тепловых электростанций / Б.С. Фарфаровский, В.Б. Фарфаровский. — Л.: Энергия, 1992. — 111 с.
2. Лавренченко, Г. Разработка косвенно-испарительных воздухоохладителей для систем кондиционирования / Г. Лавренченко, А. Дорошенко // Холод. техника. — 1988. — № 10. — С. 33 — 38.
3. Дорошенко, А. Испарительные охладители непрямого и комбинированного типов / А. Дорошенко, С. Филипцов, А. Горин // Холод. техника и технология. — 2004. № 6 — С 15 — 22.
4. Патент на винахід 74524 України Двоконтурна мокра-суха вентиляторна градирня / О. Горін, С. Філіпцов, О. Дорошенко // Бюл. — 2005. — № 12.
5. Maisotsenko, V. The Maisotsenko Cycle for Air Dessiccant Uses Heat Culling / V. Maisotsenko L. Gilan // Intern. Congress of Refrigeration. — Washington, 2003 — P. 57 — 59.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Мазуренко А.С.

Поступила в редакцию 5 октября 2009 г.