

Исследование работы форсунок аппаратов воздушного охлаждения

ПЕРЕМИТЬКО В.В., ОКУНЬ А.Г., КЛОЧКО Р.И., ЧЕРЕДНИК Е.А, РЕЙДЕРМАН Ю.И.

Днепродзержинский государственный технический университет

В статье рассмотрены проблемы эффективности использования форсунок в аппаратах воздушного охлаждения. Экспериментально установлены связи между расходными характеристиками исследованных форсунок и их дальностью, а также расчетным путем найдены наиболее благоприятные значения времени испарения.

У статті розглянуті проблеми ефективності використання форсунок в апаратах повітряного охолодження. Експериментально встановлені зв'язки між витратними характеристиками досліджуваних форсунок та їх далькюбійністю, а також розрахунковим шляхом знайдені найбільш сприятливі значення часу випаровування.

The problems of efficiency using of sprayers the vehicles of the air cooling are considered in the article. Connections are experimentally set between expense descriptions of investigational sprayers and their long-range, and also a calculation way is find the most favorable values of the time of fumes.

Введение. Была исследована работа форсунок, применяемых в аппаратах воздушного охлаждения (АВО). Исследовали работу центробежных шнековых форсунок диаметром сопла 1,5 и 2,5 мм (рис. 1).

Эффективность работы форсунок, предназначенных для адиабатического увлажнения потока воздуха, оценивали путем фиксирования начальных и конечных значений температуры и относительной влажности воздуха, а также при помощи коэффициента использования влаги:

$$K = \frac{G_n}{G_\phi} = \frac{G_w(d_2 - d_1)}{10^3 G_\phi}, \quad (1)$$

где G_n – количество дисперсной фазы, перешедшей в паробразное состояние, кг/ч; G_w – расход воды через форсунку, кг/ч; G_ϕ – расход воздуха, кг/ч; d_1 и d_2 – соответственно начальное и конечное влагосодержание воздуха, г/кг сухого воздуха.

С помощью коэффициента использования влаги можно оценить совершенство конструкции диспергирующего устройства (соответствие параметров дисперсной фазы режиму ее испарения в данном потоке воздуха).

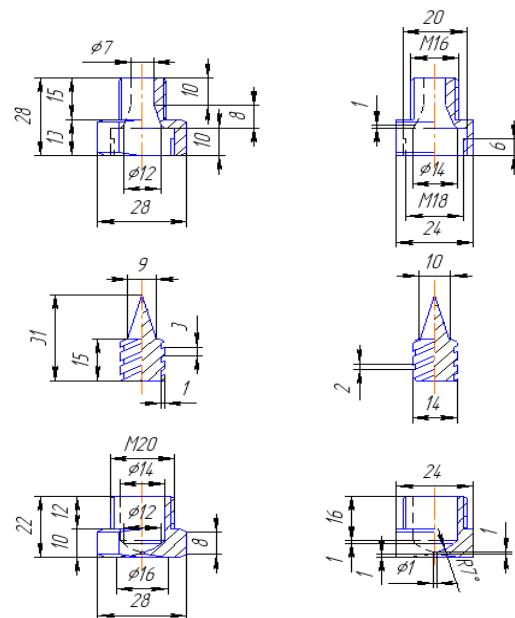
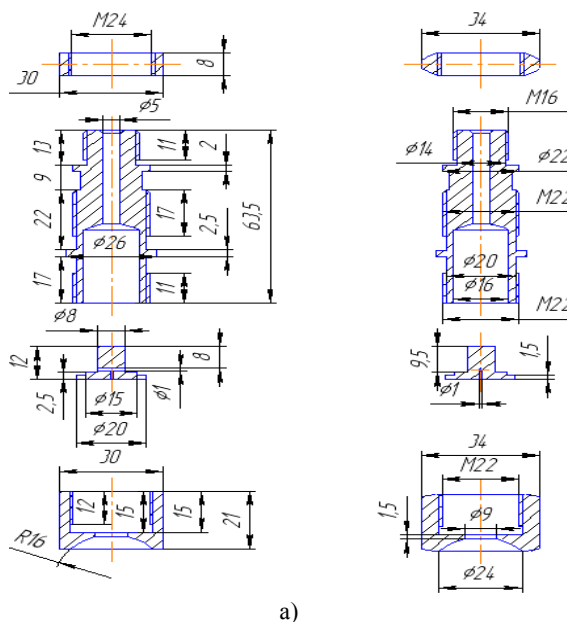


Рис. 1. Базовая (а) и исследуемая (б) форсунки

Основная часть. Экспериментальный стенд состоял из установки для снятия характеристик расхода форсунок и замеров параметров факела и аэродинамической трубы, включающей камеру подготовки воздуха и испарительную камеру. Конструкция стенда позволяет определить характеристики форсунки, поместить ее в восходящий воздушный поток и зафиксировать изменение параметров состояния воздуха. Необходимые по условиям опыта значения параметров состояния воздуха поддерживались камерой подготовки воздуха, работающей в автоматическом режиме. Для получения адиабатического процесса испарения температура воды, подаваемой на диспергирование, поддерживалась равной температуре мокрого термометра.

Проведенные на стенде исследования показали, что суммарная поверхность капель диспергированной воды, вступающих в контакт с воздухом, пропорциональна ее расходу, а разность между начальным и ко-

нечным влагосодержанием воздуха определяется количеством испаренной воды, которое также пропорционально суммарной поверхности капель. Следовательно, можно сделать вывод, что в установившемся воздушном потоке коэффициент использования влаги K не зависит от производительности форсунки.

Как показали стендовые испытания, между расходными характеристиками исследованных форсунок (рис. 2) и их дальностью существует прямая связь: чем больше расход, тем больше длина факела при одном давлении. Небольшое число форсунок (две-семь), имеющих корневой угол факела $60-80^\circ$, не в состоянии обеспечить равномерное орошение воздушного потока в АВО, несмотря на достаточное количество подаваемой воды. В аппарате воздушного охлаждения время движения капель от точки впрыска до оребренной поверхности секции в зависимости от места установки диспергирующего устройства (после колеса вентилятора или до него по ходу воздуха) составляет $0,25-0,6$ с.

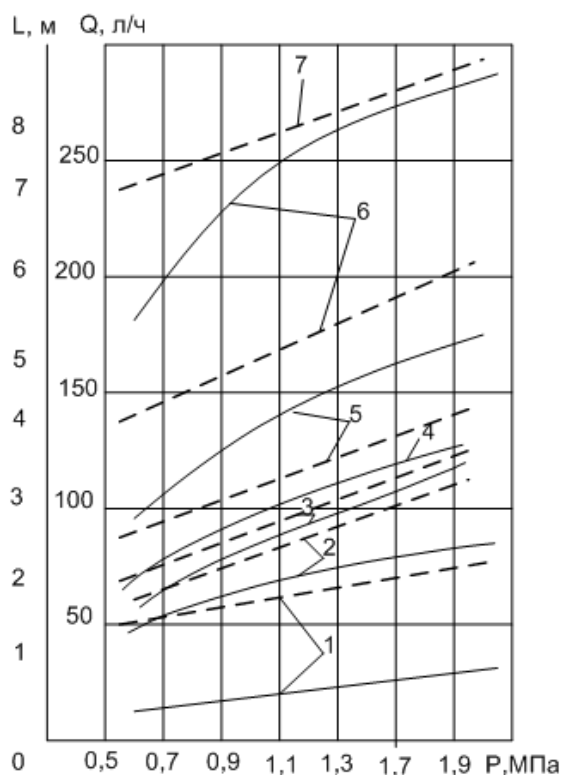


Рис. 2. Зависимость расхода (Q) и дальности (L) исследованных форсунок от давления (P): 1 — форсунка Ташкентского политехнического института; 2 — форсунка ВНИИнефтемаша (диаметр сопла 1,5 мм); 3 — пластмассовая форсунка; 4 — форсунка с одним тангенциальным каналом; 5 — форсунка ВНИИнефтемаша (диаметр сопла 2,5 мм); 6 — форсунка Северодонецкого филиала НИИхиммаша; 7 — струйно-центробежная форсунка.

За это время равномерного распределения дисперсной фазы в потоке воздуха не происходит. Например, аппарат АВГ-320, используемый в производстве аммиака, должен поддерживать температуру азотоводородной смеси на выходе не выше 40°C при расчетной температуре воздуха $t_p = 23^\circ\text{C}$. Для снижения темпера-

туры воздуха с 30°C ($\varphi = 30\%$) до 23°C ($\varphi = 60\%$) необходимо подать на испарение 700 кг/ч воды. Такой расход обеспечивают при давлении 2 МПа семь форсунок ВНИИнефтемаша с диаметром сопла $1,5$ мм, или шесть пластмассовых форсунок, или четыре форсунки ВНИИнефтемаша с диаметром сопла $2,5$ мм, или две форсунки Северодонецкого филиала НИИхиммаша.

В настоящее время для более равномерного орошения устанавливают $20-30$ форсунок, суммарный расход которых намного превышает теоретически необходимый. Это ведет к увеличению расхода дорогостоящей химически очищенной воды и нарушает нормальное функционирование аппарата воздушного охлаждения [1]. Кроме того, из-за большой дальности форсунок ($3-7$ м) разместить их в диффузоре таким образом, чтобы жидкость не попадала на стенки, невозможно.

При давлении 1 МПа расход воды уменьшается на $25-30\%$ (соответственно возрастает число форсунок), дальность — на $20-25\%$, а качество, диспергирования воды при этом заметно ухудшается.

В Ташкентском политехническом институте была сконструирована и изготовлена микрофорсунка, работающая при давлении $1-2$ МПа и расходе $20-40$ л/ч и обладающая небольшой дальностью ($1,5-2,0$ м). Разработанная центробежная механическая форсунка имеет гидравлически гладкий профиль, два тангенциальных канала диаметром $0,6$ мм и сопло диаметром 1 мм. Расходные характеристики этой форсунки значительно лучше (рис. 3). Движение дисперсной фазы за счет давления с сохранением корневого угла факела наблюдается на расстоянии $0,5-0,8$ м от сопла, остальная часть факела имеет неопределенную форму и движется с небольшой скоростью. При вертикальном расположении форсунки в испарительной камере установки это приводит к тому, что до включения вентилятора вторая часть факела медленно оседает вниз. Это благоприятно сказывается на увлажнении воздуха, так как фаза движения капель с установившейся скоростью (скоростью витания) в потоке воздуха наступает очень быстро (через $0,02-0,03$ с) после отделения капли от сопла, и дальнейшее движение капель определяется законом движения воздушного потока, что очень важно при турбулизации воздуха вентилятором. В рассмотренных условиях факел форсунки с большой дальностью движется независимо от движения воздушного потока, что вызывает неравномерность увлажнения. Сконструированная форсунка имеет существенные достоинства: высокую дисперсность капель [3]; малую дальность; возможность установки большого числа форсунок в аппарате для достижения нужного расхода и равномерного распределения дисперсной фазы в потоке воздуха.

Необходимость установки большого числа форсунок предъявляет высокие требования к точности совпадения гидравлических и расходных характеристик каждой из них.

В настоящее время системы увлажнения воздуха на серийно выпускаемых АВО оснащаются пластмассовыми форсунками. Испытания и длительная эксплуатация таких форсунок показали значительный разброс значений расходных характеристик, что связано со свойствами материала и технологией изготовления.

Разработанную форсунку сравнивали с форсункой с соплом диаметром $1,5$ мм конструкции ВНИИнефтемаша. При проведении эксперимента скорость воздушного потока и величина изменения влажности были оди-

наковыми. Средние значения коэффициента использования влаги составили для разработанной форсунки – 0,63, для форсунки ВНИИнефтемаша – 0,19, т.е. в форсунке Ташкентского политехнического института вода используется в 3,3 раза эффективнее. Это оказывается возможным при уменьшении радиуса капель в 3 раза при одновременном возрастании их концентрации в 27 раз (в предположении монодисперсности капель).

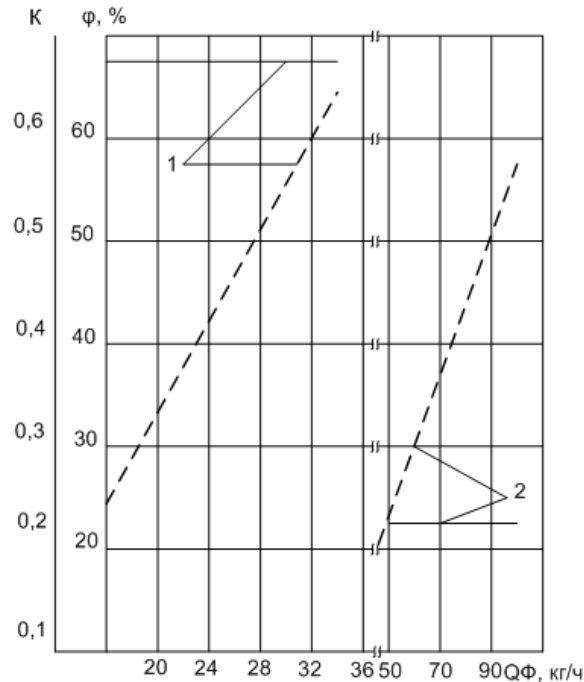


Рис. 3. Зависимость относительной влажности ϕ воздуха и коэффициента использования влаги K от производительности Q форсунок: 1 – конструкции Ташкентского политехнического института; 2 – конструкции ВНИИнефтемаша (диаметр сопла 1,5 мм).

На рис. 4 представлен процесс изменения состояния воздуха при орошении его этими форсунками в i - d -диаграмме, из которой видно, что процесс испарения – адиабатический.

Кроме качества работы форсунки, большое значение для снижения температуры воздуха имеет время испарения, которое зависит от расположения узла увлажнения и размеров испарительной камеры. У серийно выпускаемых аппаратов узел увлажнения располагается между колесом вентилятора и теплообменной секцией, время испарения составляет 0,2-0,25 с. Если установить узел увлажнения перед колесом вентилятора, то время испарения увеличивается в 2 раза. Оценить эффективность, такого расположения можно, используя систему уравнений вида:

$$n = \frac{\ln \left[1 - \frac{c_n(\tau) - c_{n0}}{c_{nn} - c_{n0}} \right]}{\beta \int_0^T S_k(\tau) d\tau}; \quad (2)$$

$$c_n(\tau) - c_{n0} = n \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho$$

где $c_n(x)$ – текущее значение концентрации пара (при $\tau = T$ $c_n(\tau)$ – конечное значение концентрации); c_{n0} – концен-

трация пара в воздухе, соответствующая начальным условиям, кг/м^3 ; c_{nn} – концентрация пара на поверхности жидкости при 100%-ном насыщении и температуре поверхности жидкости, кг/м^3 ; β – коэффициент массообмена, м/с ; T – период испарения, с; $S_n(\tau)$ – закон изменения поверхности капель во времени; n – количество (концентрация) капель в 1 м^3 воздуха; R_0 – начальный радиус капель при условии их монодисперсности, м.

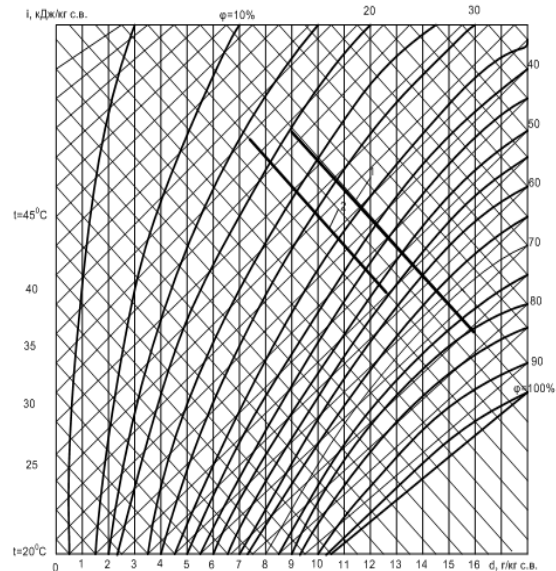


Рис. 4. Диаграмма изменения состояния воздуха: 1 – для форсунки Ташкентского политехнического института; 2 – для форсунки ВНИИнефтемаша (диаметр сопла 1,5 мм)

Выводы

Как видно из формулы (2), значения n и R_0 зависят от периода испарения. При $T = 0,5 \text{ с}$ $n = 4,29 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ и $R_0 = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, а при $T = 0,25 \text{ с}$ $n = 12 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ и $R_0 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ (при начальных температуре и относительной влажности соответственно 40°C и 25% и конечных 25°C и 90%). Сокращение периода испарения вдвое резко повышает требования к системе распыления, степени дисперсности: R_0 должен уменьшиться в 1,5 раза, а концентрация – возрасти в 3 раза.

Дальнейшее увеличение периода испарения еще больше снижает жесткость требования к диспергирующим устройствам и повышает эффективность процесса. Практически это можно сделать, увеличив расстояние между местом установки узла увлажнения и секциями аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающей и химической промышленности. – В сб.: Материалы научно-технического семинара/Под ред. В.М. Шмерковича М.: ЦИНТИ-химнефтемаш, 1967. – 67 с.
2. Пажо Д.Г., Корягин А.А., Ламм Э.Л. Распыливающие устройства в химической промышленности. М.: Химия, 1975. – 198 с.
3. Витман Л.А., Качельсон Б.Д. Распыливание жидкости форсунками. М.: Госэнергоиздат, 1962. – 260 с.