

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.

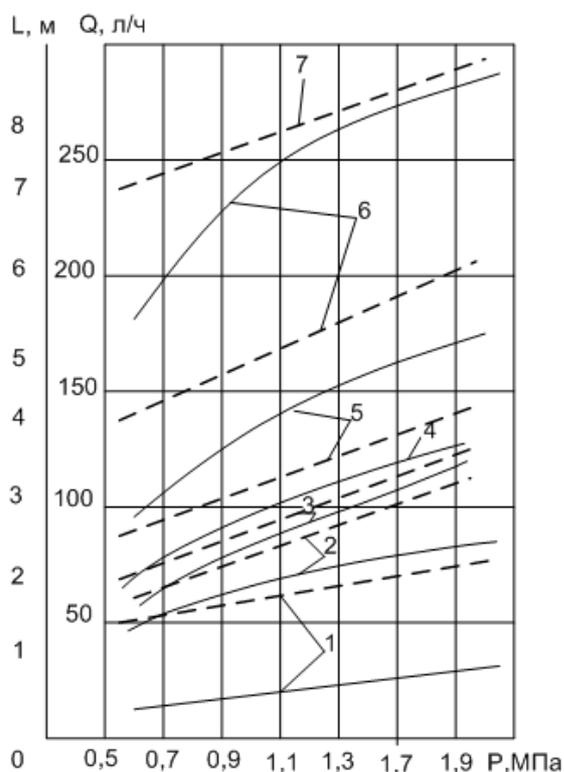


Рис. 2. Зависимость расхода (Q) и дальности (L) исследованных форсунок от давления (P): 1 – форсунка Ташкентского политехнического института; 2 – форсунка ВНИИнефтемаша (диаметр сопла 1,5 мм); 3 – пластмассовая форсунка; 4 – форсунка с одним тангенциальным каналом; 5 – форсунка ВНИИнефтемаша (диаметр 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).

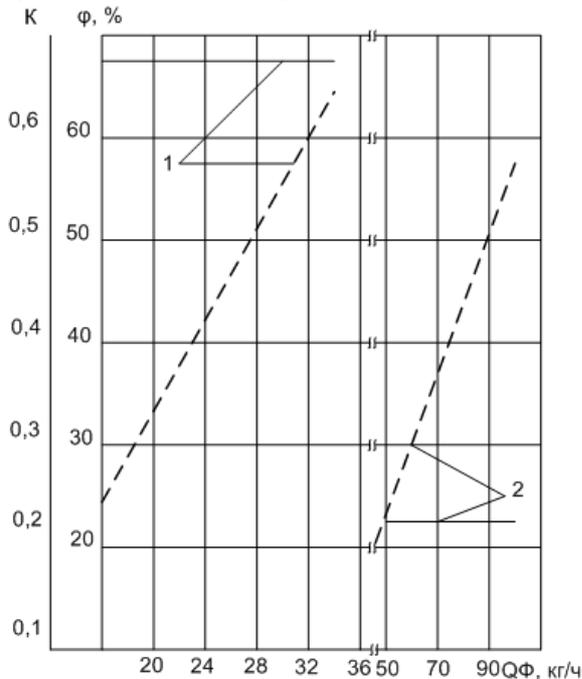


Рис. 3. Зависимость относительной влажности ϕ воздуха и коэффициента использования влаги K от производительности Q форсунок: 1 – конструкции Ташкентского политехнического института; 2 – конструкции ВНИИнефтемаша (диаметр сопла 1,5 мм).

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, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_{nn} – концентрация пара на поверхности жидкости при 100%-ном насыщении и температуре поверхности жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; β – коэффициент массообмена, $\text{м}/\text{с}$; 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.

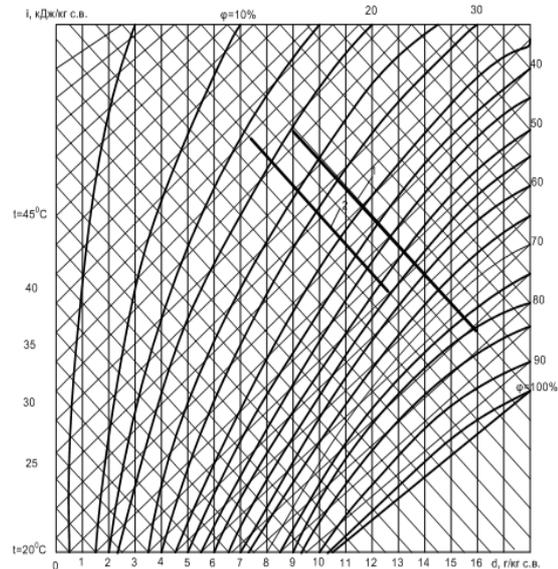


Рис. 4. Диаграмма изменения состояния воздуха: 1 – для форсунки Ташкентского политехнического института; 2 – для форсунки ВНИИнефтемаша (диаметр сопла 1,5 мм)

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., Качнельсон Б.Д. Распыливание жидкости форсунками. М.: Госэнергоиздат, 1962. – 260 с.