

Системний аналіз енергозберігаючих технологій та оптимізація енергоємних виробництв

УДК 532. 529

А.М. Подвысоцкий, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., **В.В. Дубровский**, канд.техн.наук (Институт общей энергетики НАН Украины, Киев), **С.Е. Кидалюк**, **М.В. Довгопол** (ООО "Реал", Киев)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАСПЫЛИВАНИЯ ВОДЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ ФОРСУНКАМИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Описано новий пристрій для розпилення води відцентровими форсунками. Приведено спосіб ефективного розпилення рідини за рахунок зіткнення зустрічно спрямованих факелів розпилу. Сформульовано найважливіші завдання експериментальних досліджень для оптимізації процесів охолодження води у градирнях.

Описано новое устройство для распыливания воды центробежными форсунками. Приведен способ эффективного распыливания жидкости за счет столкновения встречно направленных факелов распыла. Сформулированы наиболее важные задачи экспериментальных исследований для оптимизации процессов охлаждения воды в градирнях.

Многие технологические процессы различных областей промышленности на одном из этапов предполагают контакт жидкости и газа, в частности, путем диспергирования жидкости в потоке газа. Распыливание жидкости широко применяется в пищевой, химической, металлургической и других отраслях промышленности для проведения тепломассообменных процессов, таких как нагрев или охлаждение жидкости, конденсация низкопотенциальных паров, мокрая очистка газов от химических и механических примесей и др.

Технологические процессы в энергетике требуют охлаждения больших количеств воды, которое осуществляют методом распыливания жидкости на капли в градирнях. Поэтому повышение энергоэффективности градирен является важной и актуальной задачей.

Очевидно, что процесс взаимодействия жидкости и газа будет наиболее эффективным тогда, когда площадь их контакта будет наибольшей. Следовательно, одним из оптимальных методов проведения такого процесса можно считать распределение жидкости в виде мелкодисперсного распыла в потоке газа. Тем не менее, для градирен существует ограничение по мелкодисперсности распыла из условий предельно-допустимого уноса и испарения капель. Известно, что качественное капельное распыливание воды достаточно легко осуществить при большом давлении поступающей жидкости. Однако технологическая вода, используемая в производственных процессах, как правило, низкого давления. Поэтому, для эффективного охлаждения технологической воды давление повышают с помощью насосов. Загрязненность воды не позволяет применять сопла малых диаметров.

В ряде случаев в градирнях используются вентиляторы с целью улучшения теплообмена капель с окружающим воздухом. Все это приводит к повышенным затратам энергии и неоправданным капитальным вложениям в производственный процесс. Гораздо более экономичным подход при проектировании градирен будет иметь место в том случае, если удастся отказаться от систем повышения давления технологической воды и использования охлаждающих вентиляторов.

В настоящее время к созданию энергоэффективных экономичных систем охлаждения, менее дорогостоящих по сравнению с применяемыми в промышленности пленочными оросителями, проявляется большой интерес в связи с повышенным вниманием производителей к малозатратным технологиям.

В ряде случаев для улучшения диспергирования жидкости основной поток разделяют на несколько потоков и пропускают их через ряд распылительных форсунок так, чтобы боковые поверхности факелов распыла взаимодействовали друг с другом. За счет взаимодействия факелов распыл жидкости интенсифицируется. Возможен и другой вариант диспергирования жидкости - за счет взаимодействия тонких пленок жидкости, которые располагают в пространстве таким образом, что каждая из них пересекается с соседними пленками несколько раз. Однако данное техническое решение предполагает необходимость формирования первоначальных плоских стабильных низкоэнергетических пленок жидкости, которые при неоднократном столкновении распадаются на отдельные капли, но не распыляются с образованием мелкодисперсного облака распыла.

В последнее время для ряда предприятий пищевой промышленности Украины спроектированы и построены безвентиляторные градирни нового типа, в которых используются центробежные форсунки низкого давления, распыливающие жидкость так, что их факелы направлены навстречу друг к другу. Такой способ распыления жидкости и устройство для его осуществления описаны в [1-3].

На рис. 1 изображена схема компоновки двух пар центробежных форсунок вдоль вертикальной оси. Способ распыливания жидкости при таком взаимном расположении форсунок заключается в попарном столкновении встречно направленных потоков жидкости в виде закрученных в противоположных направлениях тонких конусообразных пленок. Здесь пары форсунок *A* и *B*, а также *B* и *Г* являются соответственно смежными. Эта компоновка обеспечивает вначале столкновение между собой факелов смежных форсунок (в точках *I-I*), а затем столкнове-

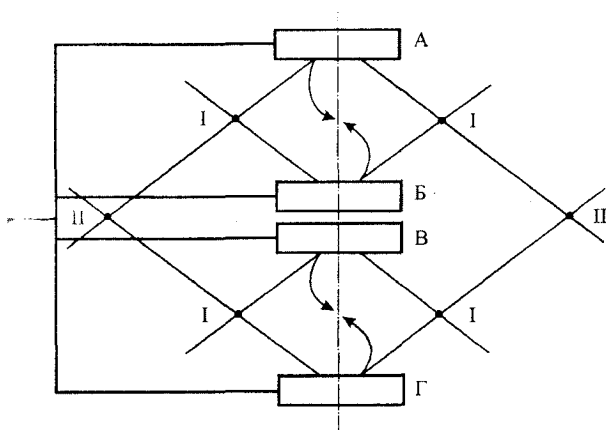


Рис. 1

ние с факелами, образованными другими парами форсунок (в точках II-II). Если вдоль вертикальной оси расположить несколько пар форсунок (создать батарею форсунок), то будет иметь место многократное взаимодействие потока из форсунки с потоками других форсунок. В зоне взаимодействия организованных по такой схеме потоков воды образуется мелкодисперсное облако распыленной жидкости высокой степени дисперсности. В градирнях облако, сформированное батареей форсунок, взаимодействует с облаками соседних батарей, что в целом обеспечивает достаточно высокую равномерность дисперсного состава капель в объеме градирни.

Для реализации предложенного в [1-3] способа распыливания жидкости предлагается центробежные форсунки располагать так, как показано на рис. 2.

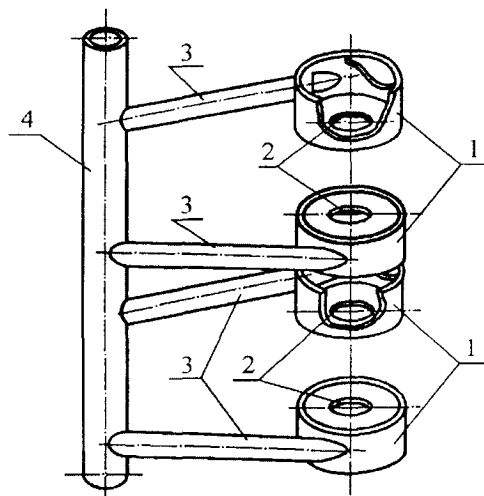


Рис. 2

Последовательно на одной вертикальной оси устанавливаются пары центробежных распылителей 1, сопла 2 которых обращены навстречу друг другу. К распылителям 1 тангенциально подведены патрубки 3, которые подключены к общей системе подачи жидкости 4. Потоки воды истекают навстречу друг другу и сталкиваются между собой. За счет столкновения встречных потоков диспергирование жидкости интенсифицируется.

Часто (рис. 3) устанавливаются центробежные форсунки 1 с двумя противоположно направленными соплами 2 и двумя автономными подводящими патрубками 3. Один такой распылитель заменяет два обычных центробежных распылителя с одним соплом. Крайние по вертикальной оси форсунки 4 изготавливаются с односторон-

ним соплом. Эти конструктивные особенности позволяют в некоторых случаях расширить диапазон промыш-

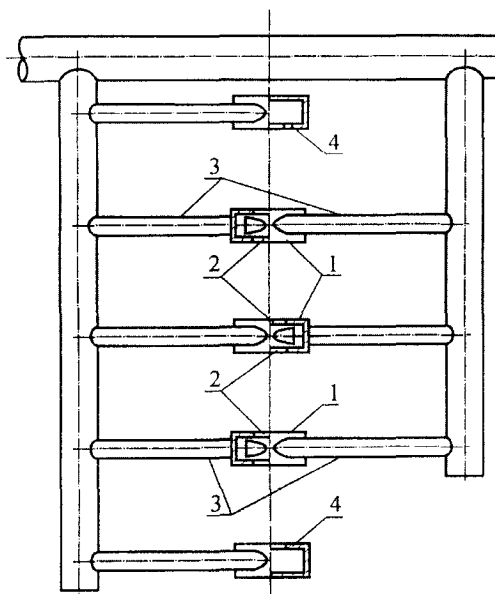


Рис. 3

ленной применимости устройства и облегчить конструкцию в целом. Расстояние между соплами смежной пары распылителей определяет место столкновения двух направленных встречно потоков, которое непосредственно влияет на качественные характеристики получаемого облака распыла. Авторами [1-3] в результате практических исследований была установлена зависимость расстояния H между смежными соплами, при котором обеспечивается достаточно качественное распыливание воды.

На рис. 4 показана зависимость $H=f(Vd/D)$, где V - скорость истекающей жидкости, d - диаметр сопла распылителя, D - диаметр камеры центробежного распылителя.

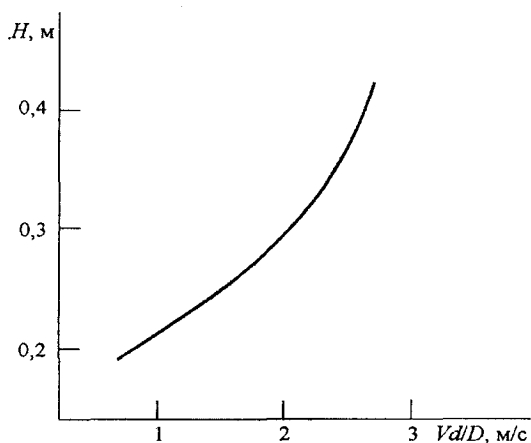


Рис. 4

Эта зависимость использовалась при конструировании устройств охлаждения технологической воды для ряда сахарных заводов Украины, однако авторы считают, и это совпадает с мнением проектировщиков, что приведенная на рис. 4 опытная зависимость не является оптимальной. Кроме того, для определения расстояния между форсунками H в приведенной зависимости используется недостаточное количество параметров.

Описанный выше процесс распыливания жидкости

можно условно разделить на два этапа. На первом этапе дробление истекающей струи осуществляется за счет распылительных свойств собственно форсунки. На втором этапе происходит дополнительное диспергирование жидкости за счет столкновений капель во встречных потоках двух факелов. Кроме того, дополнительный положительный эффект может быть обусловлен действием на сталкивающиеся капли аэродинамических сил - сил, действующих на быстро движущиеся капли в неподвижной газовой среде. Отметим, что исследования [4] столкновений капель в условиях действия аэродинамических сил показали, что исход совместного воздействия этих двух факторов не является их аддитивной суммой. Иными словами, если вклад в разрушение капель каждого из рассматриваемых явлений невелик, их совместное влияние во многих случаях может привести к катастрофическому разрушению дисперсной фазы. Отсюда вполне очевиден положительный дополнительный эффект столкновений капель на улучшение диспергирования жидкости.

Рассмотрим взаимодействие двух встречных потоков распыливаемой жидкости из смежных форсунок (рис. 5).

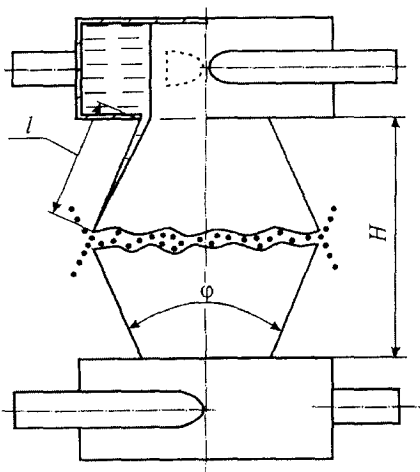


Рис. 5

Жидкость истекает из форсунок в виде тонких конусообразных пленок. Угол φ раскрытия факела и длина l нераспавшейся пленки зависят от геометрических размеров форсунки и расхода жидкости через нее.

Из физических соображений можно выдвинуть гипотезу, что наиболее эффективное распыливание жидкости будет происходить в том случае, когда конусообразные пленки сталкиваются на границе их распада на отдельные капли. При этом выражение для расстояния между форсунками H может быть записано следующим образом:

$$H \approx 2l \cos \varphi / 2$$

Итак, для того, чтобы расположить форсунки на оптимальном расстоянии друг от друга, необходимо экспериментально исследовать зависимости длины нераспавшейся части конусообразной пленки и угла раскрытия факела от геометрии форсунки и расхода жидкости через нее.

Обычно в промышленных устройствах охлаждения воды (градирнях) используются центробежные распылители большого размера. Например, диаметр камеры закручивания воды таких форсунок может достигать 200 мм, а расход через нее превышать 15 т/час. К сожалению, в известной нам литературе мало внимания уделяется крупногабаритным форсункам. В основном, информация о закономерностях течения жидкости посвящена форсункам малого размера и больших давлений [5-7].

Поэтому исследования закономерностей истечения жидкости из форсунок большого размера представляют значительный практический интерес. В частности, с нашей точки зрения, целесообразно особое внимание уделить изучению параметров факела распыла и описать их обобщающими соотношениями. При изучении форсунок в качестве аргумента часто используют различные геометрические характеристики форсунок [5, 6], например,

$$A = R r_c / (n r_{ex}^2)$$

где R - расстояние от оси сопла форсунки до оси входного канала; r_c - радиус сопла (выходного отверстия форсунки); n - число входных каналов; r_{ex} - радиус входного канала.

Кроме того, при обобщении необходимо использовать и гидродинамические параметры. Поскольку геометрически подобные форсунки, т.е. форсунки, у которых значения параметра A одинаковы, обладают различной производительностью, то необходимо изучить геометрические характеристики факела распыла при различных гидродинамических условиях истечения жидкости, т.е. при различных значениях гидродинамических параметров.

Также для расчета систем подачи воды в градирни необходимо исследовать гидравлическое сопротивление форсунок. Сопротивление форсунок является весьма важным параметром для расчета производительности насосов, обеспечиваемого ими напора, установленной мощности электропривода. При существующем насосном парке, в случае повышенного гидравлического сопротивления форсунок, может возникнуть реальная опасность недопустимого занижения водооборота в технологическом цикле.

Для корректного расчета насосного парка целесообразно из экспериментов найти зависимость вида $Q = f(A, P, \zeta)$, связывающую расход Q жидкости через форсунки с геометрической характеристикой A , давлением P на уровне водораспределительного коллектора и гидравлическим сопротивлением ζ форсунок. При этом можно избежать неоправданного перерасхода энергии в электроприводе насосов и обеспечить необходимый расход оборотной воды.

Разрешение упомянутых выше задач чрезвычайно важно для оптимизации работы распыливающих устройств охлаждения жидкости. В следующих статьях будут приведены результаты экспериментальных исследований.

1. Патент України UA № 27667. Пристрій для розподілу води у градирні / С.Е. Кидалюк, В.І. Довгопол. - 1996.
2. Евразийский патент № 000661. Устройство для распределения воды в градирне / С.Е. Кидалюк, В.И. Довгопол. - 1996.
3. Патент Российской Федерации RU № 2154536. Способ распыления жидкости и устройство для его осуществления / С.Е. Кидалюк, В.И. Довгопол. - 1998.
4. А.М. Подвысоцкий, А.А. Шрайбер, Б.Н. Маслов. Экспериментальное исследование взаимодействия быстро движущихся капель в условиях воздействия газового потока. - Пром. теплотехника. - 1981. - т.3, - № 5. - С. 64-73.
5. Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков, В.И. Ягодкин. Распыливание жидкостей. - М.: Машиностроение, 1977. - 208 с.
6. Ю.И. Хавкин. Центробежные форсунки. - Л.: Машиностроение, 1976. - 168 с.
7. Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. Основы техники распыливания жидкостей. - М.: Химия, 1984. - 256 с.