

Л. Н. Москалев, С. И. Поникаров, В. В. Алексеев,  
И. И. Поникаров

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ФОРСУНКИ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

**Ключевые слова:** центробежная форсунка, контактный конденсатор вихревого типа, плотность орошения, угол распыливания.

*Рассмотрена центробежная форсунка с вкладышем завихрителем малой производительности по воде температурой 21°C. Экспериментально определены: плотность орошения, производительность в зависимости от давления и угол распыливания воды. Построены графики плотности орошения и производительности от давления. Установлена физическая картина истечения воды при распыливании в свободном пространстве при комнатной температуре. Подтверждены формы истечения воды из форсунки необходимой для проведения тепло-массообменного процесса в контактном конденсаторе вихревого типа.*

**Keywords:** centrifugal spray, contact condenser vortex, the density of irrigation, spraying angle.

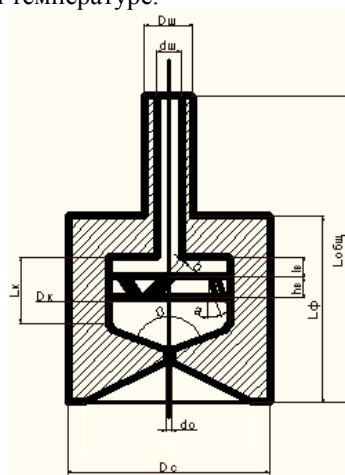
*Considered centrifugal atomizer with liner swirler low productivity on the water temperature of 21 °C. Experimentally determined: density irrigation performance, depending on the pressure and angle of spraying water. Graphs of the density and performance of irrigation pressure. The physical picture of the water at the end of atomization in the free space at room temperature. Confirmed forms of water from the nozzle end to be corrected for the heat-mass transfer processes in the contact condenser vortex.*

В ряде отраслей химической промышленности широкое распространение получили насадочные колонны, являющиеся обычно основным технологическим оборудованием. При этом на много тоннажных предприятиях химической промышленности (производство серной кислоты, хлора и неорганических удобрений) применяются весьма крупные колонны, диаметр которых достигает 6 — 8 м и более.

Правильная организация орошения насадочных колонн и, в частности, колонн большого диаметра невозможна без учета ряда требований, предъявляемых к способу распределения жидкости и к самой конструкции оросительного устройства. В исследованиях советских ученых Н. М. Жаворонкова, И. П. Кузьминых, К. М. Малина, А. Г. Амелина, В. М. Рамма, П. П. Егорова и др., посвященных теории и практике скрубберного процесса, а также в зарубежных монографиях Файрли, Вэзера, Шервуда, Нормана, Морриса и Джексона и др. указывается на значительное, а иногда определяющее влияние работы распределяющего жидкость устройства на эффективность применения насадочных колонн. Часто основным средством повышения эффективности работы колонн и является замена оросительного устройства или изменение режима его работы [1].

На процесс конденсации, охлаждения, иных технологических процессов помимо контактных устройств, в частности насадок, особое положительное влияние, как было указано выше, оказывает устройство распыливания жидкостей. Особое место в химической, нефтехимической и др. промышленности занимают центробежные форсунки, отличающиеся простотой конструкции, надежностью эксплуатации и малым удельным расходом энергии на распыливание. В данной работе исследуется центробежная форсунка рис.1, конструкция которой представлена в литературе [1]

Целью данной статьи является определения: производительности форсунки, плотности орошения и угла распыливания, поведения жидкости (воды) при распыливании в свободном пространстве при комнатной температуре.



**Рис. 1 - Центробежная форсунка малой производительности с вкладышем закручивания потока жидкости (геометрические размеры в мм, углы в град):  $D_{ш}$  – внешний диаметр штуцера,  $d_{ш}$  – внутренний диаметр штуцера,  $d_0$  – диаметр сопла,  $D_c$  – диаметр форсунки,  $D_k$  – диаметр камеры форсунки,  $L_k$  – высота камеры форсунки,  $L_f$  – высота форсунки,  $L_{общ}$  – общая высота форсунки,  $\theta$  – конусность сопловой части форсунки,  $b$  – ширина канала завихрителя,  $a$  – угол наклона каналов завихрителя**

В зависимости от расхода центробежные форсунки классифицируются на форсунки очень малой (от 5 до 30 кг/ч), малой (от 35 до 200 кг/ч), средней (от 200 до 1200 кг/ч) и высокой (от 1200 до 15000 кг/ч) производительности. Результаты экспериментального расхода жидкости в зависимости от давления рис. 2 показывают, что

используемая в ККВТ центробежная форсунка относится к форсункам малой производительности. Рабочей жидкостью является вода температурой 21°C.

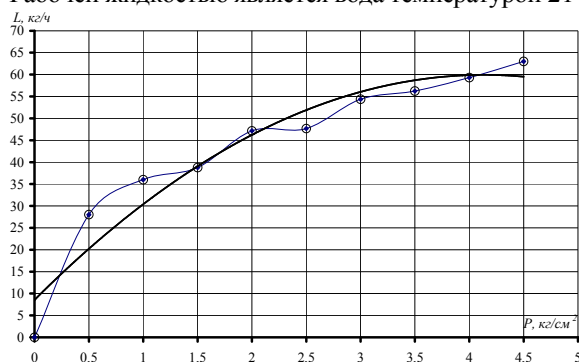


Рис. 2 - результаты экспериментального расхода жидкости в зависимости от давления

### Плотность орошения

Опытное определение плотности орошений воды по поперечному сечению струи при распыливании в неподвижный комнатный воздух производилось при помощи кольцевого сборника, имеющего 15 колец (I -XV) каждое шириной 5 мм, при толщине перегородок 0,1 мм по методике описанной в [2, 3].

На рис. 3 показан характер распределения плотности орошения центробежной форсунки при различных давлениях.

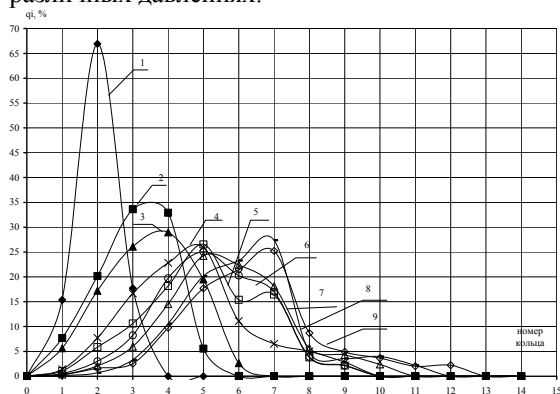


Рис. 3 - Характер распределения плотности орошения центробежной форсунки при различных давлениях, атм: 1- 0,5; 2 -1,0; 3 -1,5; 4 - 2,0; 5 - 2,5; 6 - 3,0; 7 - 3,5; 8 - 4,0; 9 - 4,5

Опыты, проведенные авторами, показали, что во всех случаях кривые плотности орошения имеют колоколообразный вид. А своевременное выравнивание кривых (перераспределение жидкости) происходит за счет увеличения давления. Колоколообразный вид, напоминает кривые распределения плотности вероятности. Последнее никак не может считаться случайностью, так как характер кривой плотности орошения в конечном счёте зависит от турбулентности потока, от бесчисленных траекторий полета отдельных капель струи.

### Определение угла распыливания

Во всех методах расчета угол распыливания  $\alpha$  определяется отношением тангенциальной и осевой

составляющих скоростей, но в связи с тем, что указанные составляющие вектора скорости жидкости на срезе выходного сопла определяются различно. Расчеты угла распыливания  $\alpha$  были предложены известными учеными такими, как Абрамович, Клячко, Л.В. Кулагин, Добль и Дальтон и др. [3]

Для определения угла распыливания струи, поперек ее на расстоянии 75 мм от устья форсунки устанавливалась тонкая линейка для возможности определения угла распыливания  $\alpha$  по формуле (1)

$$\alpha = 2 \arctg (b/a), \quad (1)$$

где  $a$  — расстояние от форсунки до линейки, мм;  $b$  — радиус поперечного сечения струи на расстоянии  $a$  от форсунки, мм.

В таблице 1 приведены опытные значения  $\alpha$ , на рис. 4 приведена фотография и схема распыленных струй, полученные по описанной выше методике при распыливании воды предлагаемой центробежной форсункой малой производительности. Данные приведены для разных давлений перед форсункой при распыливании в комнатный воздух.

Таблица 1

| $P_{вх}$ , атм. | 0,5 | 1  | 1,5 | 2  | 2,5 | 3  | 3,5 | 4  | 4,5 |
|-----------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| $\alpha$ , град | 17  | 31 | 38  | 57 | 57  | 57 | 62  | 68 | 72  |

Резкий скачок между углами распыливания 38° и 57° объясняется переходом от пленочной формы распада струи к беспленочной. На рис.4 показано истечение жидкости при давлении 2,5 атм.



Рис. 4 - Фотография и схема истечения воды из центробежной форсунки через сопло диаметром 0,8 мм

Установление физической картины дробления жидкости в настоящей работе произведено на

основе визуальных наблюдений. Наблюдались распыленные струи воды центробежной форсунки при расходе от 25 до 63 кг/ч, изменении перепада давления от 0 до 4,5 кгс/см<sup>2</sup>. В результате можно установить четыре следующих форм распада закрученных жидких струй рис. 4:

I Жидкость истекает из форсунки прозрачным пузырем, замыкающимся в одну точку, из которой начинается распад струи на крупные капли. Центробежные силы раскрывают струю, которая силами поверхностного натяжения снова замыкается.

II Жидкость истекает из форсунки прозрачным тюльпаном с ярко выраженной цилиндрической частью, от рваной кромки которой срываются крупные капли. Ярко выраженная цилиндрическая часть говорит о равенстве центробежных сил и сил поверхностного натяжения.

III Жидкость истекает прозрачным тюльпаном конической формы, от колеблющихся кромок которого срываются капли разной величины.

IV Эта форма распада отличается от формы III лишь тем, что в центре появляются капельки очень малой величины, которые медленно, небольшими облаками оседают вниз.

При формах III и IV струя принимает вид конуса с прямолинейной образующей, что говорит о росте сил инерции, однако соотношение сил все еще таково, что силы поверхностного натяжения продолжают оказывать влияние на характер истечения, а следовательно, и на качество распыливания жидкости. Во всех формах распыливания ясно видны колебания жидкой

пленки, интенсивность которых по мере перехода от предыдущей стадии к последующей увеличивается.

Данную форсунку предполагается использовать в разработанном на кафедре МАХП КНИТУ, контактном конденсаторе вихревого типа (ККВТ) с двухзаходным тангенциально закручивающим устройством предназначенного для конденсации неочищенного пара при непосредственном соприкосновении рабочих сред [4, 5].

## Литература

1. *Пажи, Д.Г.* Основы техники распыливания жидкостей / Пажи Д.Г., Галустов В.С. – М.: Химия, 1984. – 107с.
2. *Витман, Л.А.* Распыливание жидкости форсунками / Витман Л.А., Кацнельсон Б.Д., Палеев И.И., Государственное энергетическое издательство, Москва, 1962. – с.61-71.
3. *Хавкин, Ю.И.* Центробежные форсунки. / Хавкин Ю.И. - Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1976. – с.108-120
4. *Москалев, Л.Н.* Сравнения контактно вихревого конденсатора с закрученным потоком с поверхностными вихревыми и кожухотрубными конденсаторами/ Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 15. №3; 2012. – с.123-126.
5. *Москалев, Л.Н.* Описание экспериментальной установки для проведения исследований процесса конденсации в контактно вихревом аппарате / Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 14. №14; 2011. – с.235-240.

---

© **Л. Н. Москалев** - зав. лаб. каф. машины и аппараты химических производств КНИТУ, lejnya@yandex.ru; **С. И. Поникаров** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машины и аппараты химических производств КНИТУ, ponikarov\_si@kstu.ru; **В. В. Алексеев** – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, valexeevtt@mail.ru; **И. И. Поникаров** – д-р техн. наук, проф., советник Ректора КНИТУ.