



## ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ для повышения эффективности технологических процессов

**Кристиан Риттер**, руководитель производственного направления; **Дэвид Тамм**, менеджер по развитию рынка, SAMSON AKTIENGESELLSCHAFT, Франкфурт-на-Майне, Германия

Перегретый пар применяется для многих технологических процессов в различных отраслях промышленности. Однако, для увеличения эффективности процессов теплопередачи, защиты оборудования, и выполнения других задач, требуется снижение давления и температуры пара.

Для выполнения этих целей может быть использован паропреобразующий клапан (паропреобразователь), который совмещает в себе клапан регулирования давления пара и пароохладитель. Данная статья, в первую очередь, детализирует физику процессов пароохлаждения и описывает функциональные особенности паропреобразователей.

### Физика пароохлаждения

Количество теплоты, передаваемое от пара капле воды, может быть рассчитано по формуле:

$$Q = A \cdot \alpha (T_s - T_w) \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где:  $Q$  – количество теплоты;  $A$  – площадь поверхности капли воды;  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи;  $T_s$  – температура пара;  $T_w$  – температура воды;  $\Delta t$  – временной интервал.

Чем меньше каждая капля воды, тем больше суммарная площадь соприкосновения между паром и каплями воды. Поэтому важно, чтобы вода при вводе в поток пара распылялась на очень мелкие капли. Распыление происходит в два этапа: первичное и вторичное распыление. Первичное распыление относится к распылению на пароохладителе. Расщепление капель воды при помощи динамических сил потока пара называется вторичным распылением. Вторичное распыление происходит, когда воздействие динамических сил потока пара на каплю превышает силу поверхностного натяжения воды, удерживающую каплю от распада. Это соотношение известно, как число Вебера ( $We$ ):

$$We = \frac{\text{Динамическая сила}}{\text{Сила поверхностного натяжения}} = \frac{\rho v^2 D}{\sigma}, \quad (2)$$

где:  $\rho$  – плотность пара;  $v$  – относительная скорость между паром и каплей воды;  $D$  – диаметр капли воды;  $\sigma$  – поверхностное натяжение капли воды.

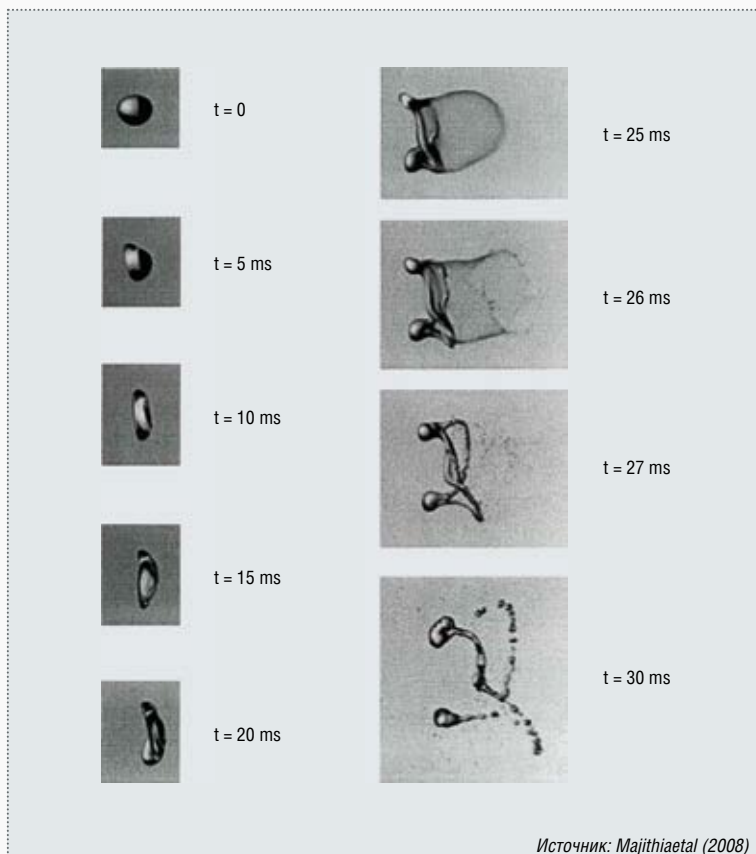
Вторичное распыление происходит при значении числа Вебера больше 12; чем выше значение числа Вебера, тем интенсивнее вторичное распыление.

Наиболее влиятельным фактором на число Вебера является скорость пара: более высокая скорость приводит к увеличению числа Вебера. **Рис. 1 и 2** показывают распад капли воды для чисел Вебера 14,5 и 51.

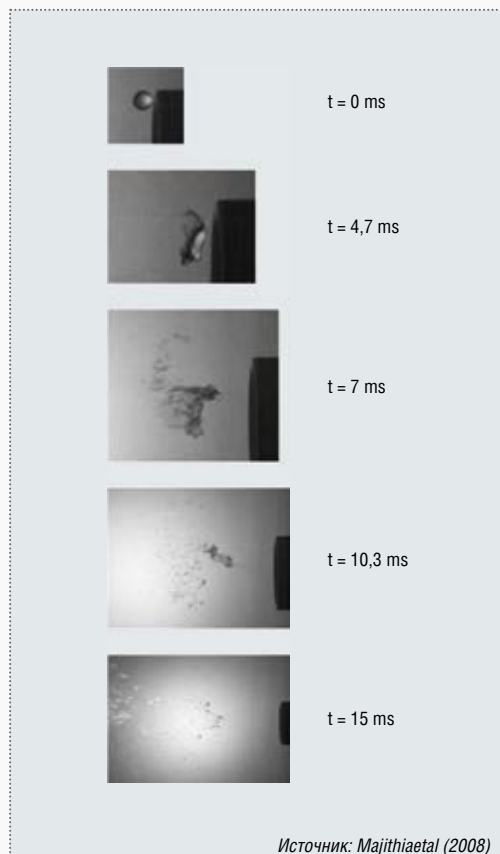
Коэффициент теплопередачи ( $\alpha$ ) также зависит от скорости потока пара. В момент первичного контакта капля воды с перегретым паром вокруг каждой капли воды образуется паровая оболочка с изолирующим эффектом. Чем выше разница скоростей между каплями воды и паром, тем быстрее паровая оболочка будет сдуваться с каплей, что положительно влияет на коэффициент теплопередачи.

Уравнение (1) (приведённое выше) определяет, что ввод более холодной воды приводит к большей разнице температур между паром и водой, следовательно, более высокому значению общего количества теплоты. Однако холодным каплям воды требуется большее время для испарения и, сталкиваясь с элементами трубопровода, они провоцируют «термошок».

Кроме того, горячая вода имеет меньшее поверхностное натяжение по сравнению с холодной, что увеличивает



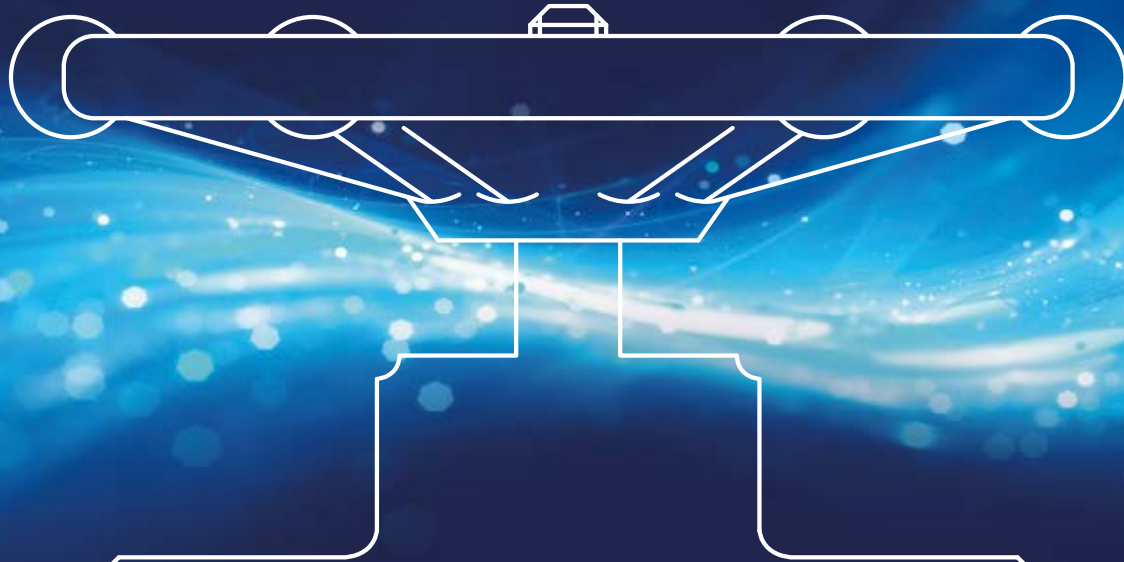
**Рис. 1.** Распад капли воды диаметром 3,7 мм,  $We = 14,5$



**Рис. 2.** Распад капли воды диаметром 3,0 мм,  $We = 51$

# IVS INDUSTRIAL VALVE SUMMIT

2<sup>ND</sup> international exhibition and conference  
on valve and flow control technologies



## LEADING THE GLOBAL MARKET FLOW

MAY 24<sup>TH</sup> > 25<sup>TH</sup> 2017  
BERGAMO - ITALY

PROMOTER

ENTE FIERA  
PROMOBERG



CONFINDUSTRIA BERGAMO

PARTNER SPONSOR



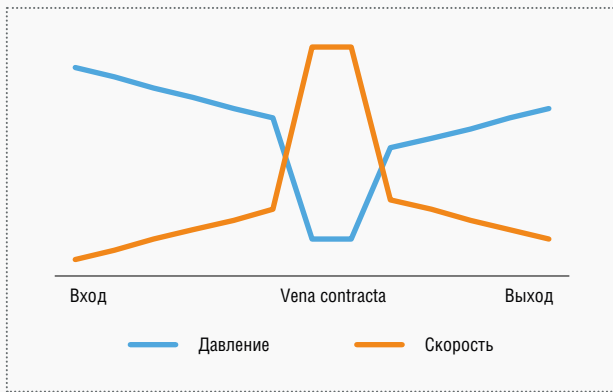
Attending IVS - Industrial Valve Summit gives you the opportunity to share knowledge, experience and ideas with other leading industry professionals and organisations. **IVS: Lead the global market flow!**

**IVS - Industrial Valve Summit is the:**

- » Forum for the industrial valves industry
- » Innovations' platform and technology summit
- » Trend-setting meeting point
- » Take-off for investment decisions
- » International network of experts and specialists

Organising Secretariat | Ph. +39 035 3230916 | Fax +39 035 3230966 | e-mail: [info@industrialvalvesummit.com](mailto:info@industrialvalvesummit.com) | Follow us:





**Рис. 3.** График давления и скорости среды при прохождении через регулирующий клапан

значение числа Вебера и, следовательно, способствует эффекту вторичного распыления. В основном, температура подаваемой воды, для охлаждения пара, должна быть не ниже 80 °С.

### Паропреобразователи

Паропреобразователи совмещают в себе клапан регулирования давления пара и пароохладитель. Значения давления или расхода пара задаются положением плунжера паропреобразователя в то время, как регулирующий клапан подачи воды контролирует расход распыляемой охлаждающей воды и, тем самым, задает необходимую температуру.

Во время процесса дросселирования в регулирующем клапане энергия давления преобразуется в кинетическую энергию, что приводит к понижению давления среды (в данном случае пара) и увеличению её скорости. Самое высокое значение скорости среды находится непосредственно между седлом и плунжером. Эта зона называется **vena contracta**.

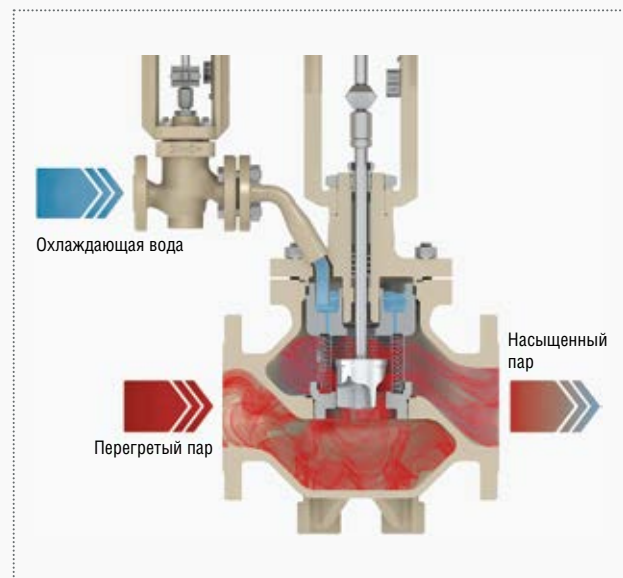
В паропреобразователях используются высокие скорости среды для создания мельчайших капель воды.

Паропреобразователи SAMSON обладают уникальной конструкцией, позволяющей подавать охлаждающую воду непосредственно на выход из vena contracta в устройство, называемое делителем потока, которое состоит из внутреннего и внешнего перфорированных цилиндров со встроенной между ними проволоочной сеткой. Благодаря делителю потока пар контактирует с охлаждающей водой на максимальной скорости на внутреннем цилиндре делителя потока. Это позволяет достичь очень высокого значения числа Вебера, и, следовательно, отличного распыления воды. Созданные таким образом мелкие капли уменьшаются ещё сильнее, проходя через проволоочную сетку делителя потока. Более того, скорость пара в точке vena contracta не зависит от рас-

хода пара, что позволяет паропреобразующим клапанам SAMSON достигнуть максимально возможного соотношения расхода пара и воды, ограниченного только скоростью среды в выходном трубопроводе. Также делитель потока создает дополнительную ступень редуцирования давления пара, сводя к минимуму внутреннее звуковое давление и вибрационные нагрузки.

Пароводяная смесь покидает делитель потока в виде легкого тумана, состоящего из мельчайших капель воды, что сокращает время испарения и гарантирует равномерное распределение частиц воды по всей площади поперечного сечения парового потока. Это также позволяет достигнуть температуры пара на выходе из клапана, близкой к значению температуры насыщенного пара.

Для исключения негативных последствий «термошока» от действия охлаждающей воды и перегретого пара на материал корпуса клапана первоначально вода вводится в клапан через внутренний патрубок, не контактирующий с корпусом клапана, который предохраняет также фланцевое соединение охлаждающей воды от любых возможных термических нагрузок. Кроме того, мелкодисперсное рассеивание воды делителем потока гарантирует отсутствие столкновений больших водяных капель со стенками корпуса клапана и элементами трубопровода.



**Рис. 4.** Паропреобразующий клапан SAMSON

Наиболее явные преимущества использования паропреобразователей SAMSON в качестве комбинированной системы – наилучшее регулирование температуры, максимальный диапазон регулирования, уменьшение габаритов и стоимости устройства, обусловленное компактностью конструкции.

### ☞ Литература

Majithia A.K.; Hall S.; Harper L., Bowen P.J. (2008): Droplet Breakup quantification and processes in constant and pulsed air flows.