

## ПАРОГАЗОГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ КАМЕРЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

## ВВЕДЕНИЕ

Парогенераторы получили широкое применение в теплоэнергетике. Основное их назначение - выработка рабочего тепла на тепловых электростанциях. Это рабочее тело должно иметь соответствующие параметры: высокое давление и температуру. Однако имеются отрасли промышленности, где необходим водяной пар относительно низких параметров (тепловлажностная обработка различных изделий, например, бетон). Поэтому ставится задача получения низкопотенциального пара с низкими капитальными затратами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА ДРОССЕЛИРОВАНИЕМ

Этот принцип, предложенный профессором Северяниным В.С., заключается в сбросе давления жидкости, предварительно нагретой почти до точки кипения жидкости.

Рассмотрим некоторый объём нагретой жидкости, имеющий начальную температуру насыщения ( $t_{нас1}$ ), давление ( $p_1$ ) и энтальпию ( $i_1$ ) (рис.1). В результате сброса давления до атмосферного получаются конечные параметры: пар, имеющий степень сухости  $x$ , и жидкость, имеющая конечное давление ( $p_2$ ), температуру насыщения ( $t_{нас2}$ ); энтальпию ( $i_2$ ) и степень влажности  $(1-x)$ .

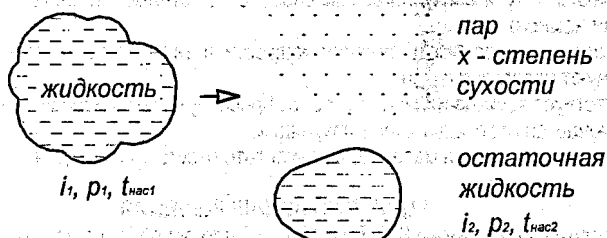


Рис.1. Принцип генерации пара дросселированием

Энергия исходной жидкости равна энергии полученного пара и остаточной жидкости:

$$i_1 = (1-x) \cdot i_2 + x \cdot r \quad (1)$$

где:  $r$  - скрытая теплота парообразования, кДж/кг

$$i_1 - i_2 = x(r - i_2) \quad (2)$$

Значение степени сухости пара в конце дросселирования:

$$x = \frac{i_1 - i_2}{r - i_2} \quad (3)$$

В качестве примера рассмотрим 1 кг воды при давлении 4 бар и нагретой до температуры насыщения. Дросселирование ведём до атмосферного давления.

при  $p = 4$  бар  $i_1 = 144$  кДж/кг

при  $p = 1$  бар  $i_2 = 100$  кДж/кг;  $r = 510$  кДж/кг

$$x = \frac{i_1 - i_2}{r - i_2} = \frac{144 - 100}{510 - 100} = \frac{44}{410} \cdot 100\% \approx 10\%$$

Задаваясь различными значениями  $r_1$ , можно получить следующую зависимость (рис.2): чем выше давление  $r_1$ , тем выше значение  $x$ . При повышении  $r_1$  уменьшается ( $r$ ) и увеличивается  $x$ .

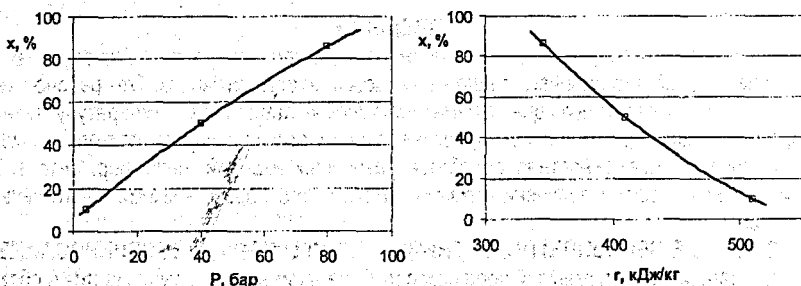


Рис.2. Влияние давления и теплоты парообразования на степень сухости водяного пара

Значит, в реальных установках для увеличения  $x$  при дросселировании необходимо увеличивать начальное давление жидкости.

Достоинства предлагаемого метода получения пара:

1. Предупреждается интенсивное образование накипи на поверхности, передающей теплоту воде, т.к. состояние среды однофазное.
2. Уменьшается поверхность нагрева, т.к. в обычном парогенераторе теплопередача идет от стенки к пару, а в предлагаемом способе - от стенки к воде, когда коэффициент теплоотдачи намного больше.
3. Повышается надежность течения жидкости в тепловоспринимающем элементе, т.к. отсутствуют паровые пузыри.
4. Отсутствует зеркало испарения, т.е. выбросы пузырей в паровое пространство.
5. Исключается опрокидывание циркуляции.
6. Отсутствует коррозия металла, в результате отсутствия воздуха.

### КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

Профессором Северяниным В.С. [1] в 1991 г. было опробовано устройство в виде камеры пульсирующего горения (КПГ) с впрыском холодной воды в струю горячих газов.

В 1994 г. им же было предложено и опробовано устройство для подогрева воды в водяной рубашке КПГ с последующей подачей пароводяной смеси в продукты сгорания (см. рис.3).

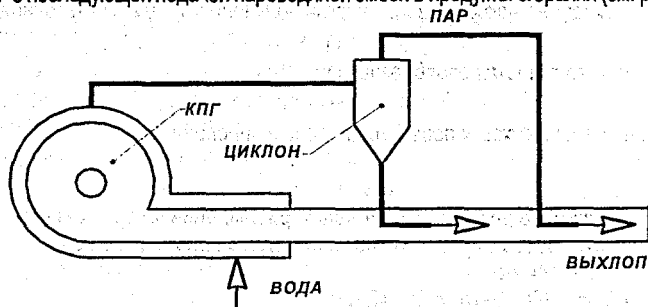


Рис.3. Парогенератор Северянина

Особенность этого устройства - предварительная сепарация в циклоне воды от пара. Пар подается на выхлоп, вода в середину камеры.

Профессором Быченко В.И. [2] продолжены эти исследования. Им получены такие данные: парогаз на выхлопе содержит:  $\text{NO}_2=0\%$ ;  $\text{CO}=9$  ppm;  $\text{CO}_2=1,7\%$ ;  $\text{SO}_2=0\%$ ;  $\text{O}_2=18,9\%$ . Им разработаны конструкции, которые используются в народном хозяйстве России.

Для реализации метода генерации пара дросселированием была изготовлена экспериментальная установка (см. рис. 4), которая состоит из КПП-1, резонансной трубы-2, водяной рубашки-3, дроссельного сопла-4.

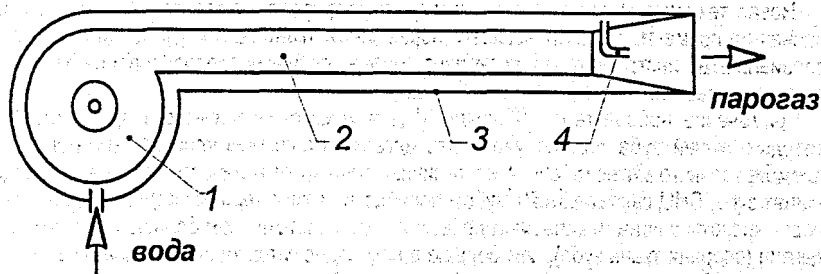


Рис. 4. Парогазогенератор

Она была испытана [3] на полигоне «ПУЛЬСАР»

Основные характеристики этого парогазогенератора:

- температура газов - 150...500 °С
- скорость газов на выходе, м/с - 25...50
- производительность по газам  $\text{м}^3/\text{ч}$  - 300...1000
- расход дизельного топлива, л/ч - 10...60,
- тепловая мощность, кВт - 100...500
- питание - 220 В; 50 Гц
- потребляемая мощность, кВт - 0,25...0,5
- габариты, м - 2x0,5
- масса - 70 кг

Это опробование позволяет наметить пути дальнейших исследований физики процесса и разработки конструкций для различных технологий.

## ВЫВОД

Анализ регенерации пара дросселированием доказывает перспективность его применения в различных технологиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Северянин В.С. Распыление топлива пульсирующим газовым потоком // Энергетика №9, 1991 г. стр 114.
2. Быченко В.И. Теплоэнергетика рабочего процесса в аппаратах пульсирующего горения. Автореферат докторской диссертации. Воронеж 2005 г.
3. Дьяконов Ю.П. Ковальчук Ю.Н. Павленко С.Н. О совершенствовании пропарочного оборудования заводов железобетонных изделий // Инженер-механик, №1, 2007 г. стр. 42.