

ставляющей 10 – 20% от инструментальных погрешностей информационно-вычислительных схем (ИВС), вызываемых главным образом погрешностью каналов измерения.

Относительные инструментальные погрешности поправок по факторам, которые показаны в табл. 1 равны (при фактической точности каналов измерения ИВС): при недогревах на  $10^{\circ}\text{C}$  воды в регенеративных подогревателях – 20 – 25%, при отключении регенеративных подогревателей –  $2 \div 5\%$ ; при отключении сливных насосов – 5 – 7%. Как видно из табл. 1, методические погрешности выше инструментальных.

Резюме. При определении поправок к расходу тепла по регенеративным изменениям тепловой схемы в первую очередь необходимо учитывать фактическое давление пара в конденсаторе.

### Л и т е р а т у р а

1. Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И. Расчет влияния изменений в тепловой схеме на экономичность электростанций. М., 1969.

УДК 621.039.554

В.С. Северянин, канд. техн. наук

### ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИКИ КАМЕР ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

Камеры пульсирующего горения (КПГ) – новый тип топочного аппарата, в котором резко интенсифицированы процессы горения и тепломассообмена. Явление самовсаса – следствие автоколебательного режима работы КПГ. В этом случае КПГ полностью снабжает себя воздухом для горения. Кроме того, КПГ без наддувных машин способна преодолеть определенное аэродинамическое сопротивление устройств в газовом тракте.

Схема КПГ гармонического типа показана на рис. 1, а. Приведем некоторые параметры работы КПГ: расход топлива через форсунку – 2 от 20 до 2000 кг/ч, частота пульсаций 30 – 150 Гц, амплитуда колебаний давления – до 0,1 бар, температура газов в выхлопном газоходе 6 после охлаждения 300–400 К в самой КПГ температура составляет 1800 – 2200 К.

В создании аэродинамической обстановки в КПГ огромную роль играет конструктивное оформление газозадушного тракта КПГ, и в первую очередь воздушных клапанов. Клапаны КПГ можно

разделить на два основных типа: механические (МК) и аэродинамические клапаны (АК). Основным критерием такого деления является наличие движущихся элементов (МК) или их отсутствие (АК). МК бывают флажковые, лепестковые, роторные, свободные, а также управляемые и неуправляемые (рис. 1, а, б, в, г, д, е) соответственно. Механизм действия МК прост. Основной недостаток МК – их недолговечность.

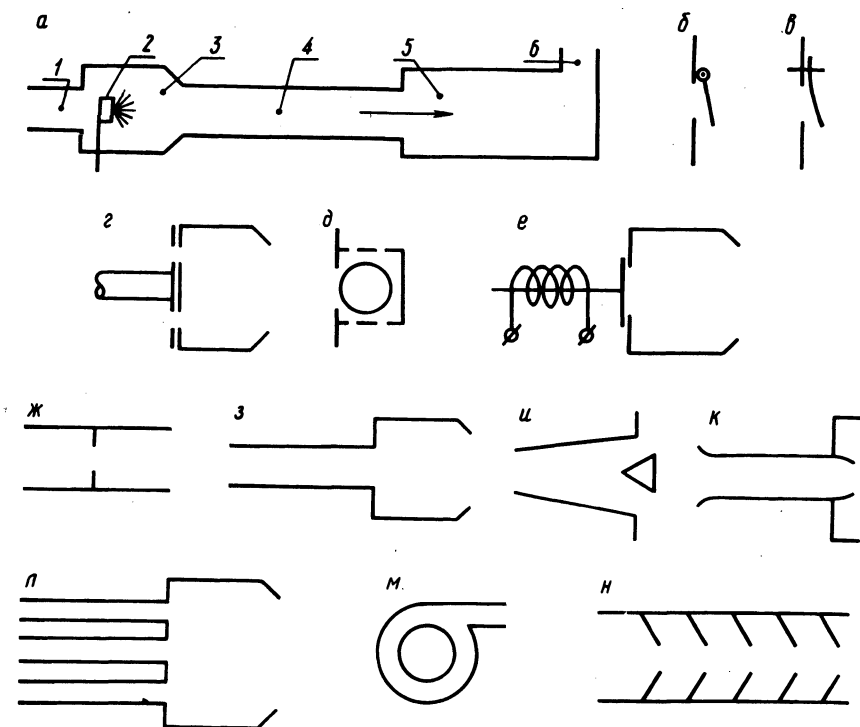


Рис. 1. Воздушные клапаны КПГ: а-общий вид КПГ; б-е - механические клапаны; ж-н - аэродинамические клапаны; 1 - клапан; 2 - форсунка; 3 - камера воспламенения; 4 - резонансная труба; 5 - объект воздействия (теплообменник); 6 - газоход.

Механизм действия АК намного сложнее работы МК. Как правило, АК работают с обратным пропуском газов, при этом коэффициент аэродинамического сопротивления клапана в прямом направлении  $\xi$  ниже, чем тот же параметр для обратного потока  $\xi_{обр}$ . Следует учитывать и параметры этих потоков, а также волновые явления. Последний фактор учитывается делением всех АК на активные и реактивные.

Пульсационный режим горения в удлиненном канале может появиться в том случае, если сечение всасывающего конца на 40 - 50% меньше сечения выхлопного (например, диафрагма, рис. 1,

ж – пример активного АК). Отрезок трубы определенного сечения и длины (рис. 1, з) создает реактивный АК. Если придать этому отрезку форму конуса с различными вставками (рис. 1, и), а также оформить, как показано, их торцы (рис. 1, к), то улучшится пульсационный режим в КПП. АК в виде группы сопел (рис. 1, л) наиболее удобен как в организации горения, так и в оформлении акустически закрытого конца КПП. Примером АК, в которых  $\xi_{пр} \ll \xi_{обр}$ , служат циклонные (рис. 1, м) и "жаберные" (рис. 1, н) АК.

Приведенные АК являются самостоятельным конструктивным элементом КПП, однако не всегда можно выделить клапан в явной форме (рис. 2). Роль клапанов здесь играют другие части КПП или сочетание этих частей (двухфазная КПП, рис. 2, а), компоновка (дипольная КПП, рис. 2, б) и особая форма (спиральная КПП, рис. 2, в).

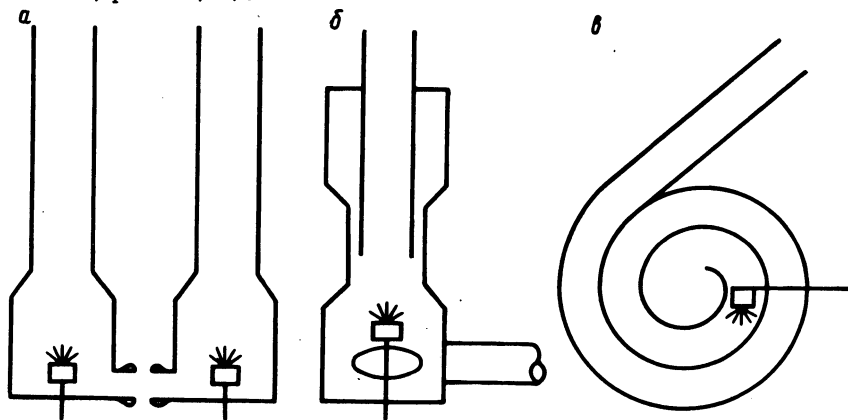


Рис. 2. Примеры КПП без явных клапанов: а – двухфазная; б – дипольная; в – спиральная.

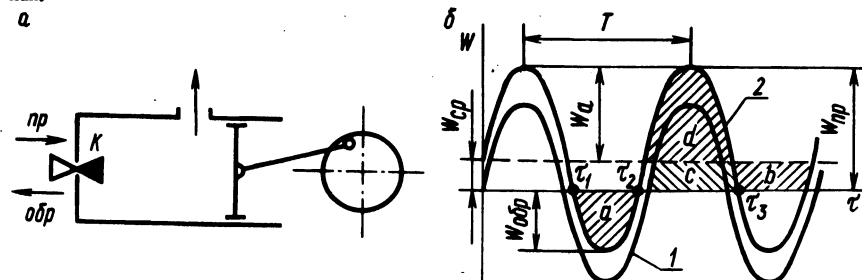


Рис. 3. Аэродинамическая модель КПП: а – теоретическая аналогия; б – распределение скоростей.

Если сопротивление устройства симметрично (одинаково в обоих направлениях), то скорости возле К (рис. 3, а) отобразят синусоидой 1 (рис. 3, б). Если сопротивление обратному по-

току выше, чем прямому, то течение изобразится линией 2 (рис. 3, б), т.е. реализуется среднерасходная скорость  $W_{\text{ср}}$  режима самовсаса. На рис. 3, б видно, что  $W_{\text{ср}}$  связана с амплитудой скорости  $W_a$ , а также с прямой  $W_{\text{пр}}$  и обратной скоростью  $W_{\text{обр}}$  так:

$$\left. \begin{aligned} W_{\text{пр}} + W_{\text{обр}} &= 2 W_a; \\ 2 W_{\text{ср}} &= W_{\text{пр}} - W_{\text{обр}} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{или } W_{\text{ср}} = W_a \frac{\sqrt{\xi_{\text{обр}}} - \sqrt{\xi_{\text{пр}}}}{\sqrt{\xi_{\text{обр}}} + \sqrt{\xi_{\text{пр}}}}.$$

Вентильный эффект исходя из рис. 3, б

$$\begin{aligned} B &= \frac{d+c}{a} = 1 + \frac{B+c}{a} = \\ &= 1 + \frac{W_{\text{ср}} T}{\int_{\tau_1}^{\tau_2} W_a \sin \omega \tau d\tau - W_{\text{ср}} (\tau_2 - \tau_1)} = \\ &= 1 + \frac{\pi A}{\sqrt{1-A^2} - A \arccos A}, \text{ где } A = W_{\text{ср}} / W_a, \quad \omega = \\ &= 2\pi / T. \end{aligned}$$

При наличии внешнего дутья со скоростью  $W_g$  аэродинамический параметр  $A$  для изотермического течения равен

$$A = \frac{W_g}{W_a} + \frac{\sqrt{\xi_{\text{обр}}} - \sqrt{\xi_{\text{пр}}}}{\sqrt{\xi_{\text{обр}}} + \sqrt{\xi_{\text{пр}}}} = A_1 + A_2.$$

Таким образом,  $A$  учитывает свойства потока и конструкцию клапана.

Учет неизотермичности следует вести через соотношение плотностей горячего выхлопа и холодного всаса, а волновые свойства - через добавочное инерционное слагаемое. Так как в стоячей волне скорости и колебания давления сдвинуты по фазе на  $\pi/2$ , то описанный объемный вентильный эффект равен массовому. Рабочее значение вентильного эффекта  $B > 1$  достигается при  $A > 0$ . При этом  $W_{\text{ср}} > 0$  при любых  $W_a$ .

Если  $A = 0$ , то  $B = 1$ , т.е. клапан одинаково пропускает в обе стороны даже при  $\zeta_{\text{пр}} > \zeta_{\text{обр}}$ . При  $A = 1$   $B \rightarrow \infty$ , т.е. должно быть  $\zeta_{\text{пр}} = 0$  или  $\zeta_{\text{обр}} = \infty$  (случай, приближающийся к МК).

Резюме. Аэродинамику КПП формирует воздушная клапанная система, вентильный эффект которой зависит от свойств клапана и потока.

УДК 536.246

В.Ф. Степанчук, докт. техн. наук,  
Е.Г. Мигуцкий, канд. техн. наук

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ДВУХФАЗНЫХ ВОДО-ВОЗДУШНЫХ ПОТОКАХ

В качестве одного из методов интенсификации теплообмена в однофазных воздушных потоках можно предложить впрыск воды в воздушный поток и использование таким образом двухфазного водо-воздушного потока. В связи с этим возникла необходимость детального исследования процесса теплообмена в двухфазных водо-воздушных потоках, которое позволило бы получить критериальные зависимости для расчета коэффициента теплоотдачи в двухфазных водо-воздушных потоках.

Эксперименты проводились [1] в интервале изменения числа  $Re$  от  $5,1 \cdot 10^3$  до  $4,12 \cdot 10^4$ , действительной плотности орошения  $N$  от 0 до  $0,204 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  и среднего температурного напора  $\Delta \bar{T}$  от 5 до 105 К для калориметров диаметром 12, 14, 18 и 20 мм при среднем диаметре капель в двухфазном потоке  $d_k = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ . Температура двухфазного потока изменялась от 283,7 до 299,3 К. Значения критериев Рейнольдса и Нуссельта определялись по диаметру трубки и теплофизическим свойствам жидкости.

Так как с ростом среднего температурного напора  $\Delta \bar{T}$  в двухфазных потоках коэффициент теплоотдачи сначала возрастает, затем при  $\Delta \bar{T} = \Delta \bar{T}_{\text{кр}}$  имеет максимальное значение и, наконец, с дальнейшим ростом  $\Delta \bar{T}$  уменьшается, полученные экспериментальные данные обрабатывались отдельно для областей  $\Delta \bar{T} < \Delta \bar{T}_{\text{кр}}$  и  $\Delta \bar{T} > \Delta \bar{T}_{\text{кр}}$ .

В результате обработки экспериментальных данных для области  $\Delta \bar{T} < \Delta \bar{T}_{\text{кр}}$  получено, что при  $0 \leq N_g \leq 0,045 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$