

## ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Петраш В.Д., Гераскина Э.А., Басист Д.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры. г. Одесса)

**Изложены принципы организации стабилизирующего, охлаждения вращающейся печи с утилизацией энергии для промышленного теплоснабжения, которые служат основой для разработки соответствующих систем и средств автоматического регулирования.**

Известно, что неукрытые вращающиеся обжиговые печи в условиях переменного воздействия температуры воздуха, скорости ветра, солнечного излучения и атмосферных осадков теряют с боковой поверхности в окружающую среду до 30% расходуемой теплоты. Неблагоприятное воздействие указанных факторов отрицательно отражается и на тепловом состоянии печного агрегата с перегревом в теплый и переохлаждением в холодный периоды года со снижением стойкости футеровки и качества продукции. Характерно, что для поддержания требуемой температуры на внутренней поверхности печи и продления срока службы футеровки, предусматривается естественное охлаждение боковой поверхности агрегата. Это, неуправляемый процесс с вышеотмеченными недостатками.

Радикальным решением по обеспечению теплотехнологических требований и повышения эффективности утилизации энергии сжигаемого топлива является организация регулируемого охлаждения вращающейся печи, которое по терминологии логично рассматривать, по мнению авторов, как процесс генерации вторичной теплоты.

Дальнейшие разработки систем теплоснабжения на основе энергии регулируемого охлаждения вращающихся печей [1] указывают на необходимость совершенствования средств автоматического регулирования и функциональных схем по обеспечению заданного уровня охлаждения печного агрегата с возможностью высокоэффективной утилизации теплоты для промышленного теплоснабжения.

Концептуальной основой стабилизации рационального теплообмена на поверхности печи в системе "теплоисточник–укрытие" с прямоточным



охлаждением поверхности является поддержание переменных перепадов температур и расхода теплоносителя, рис 1,а, в процессе регулируемой интенсификации внешнего теплообмена.

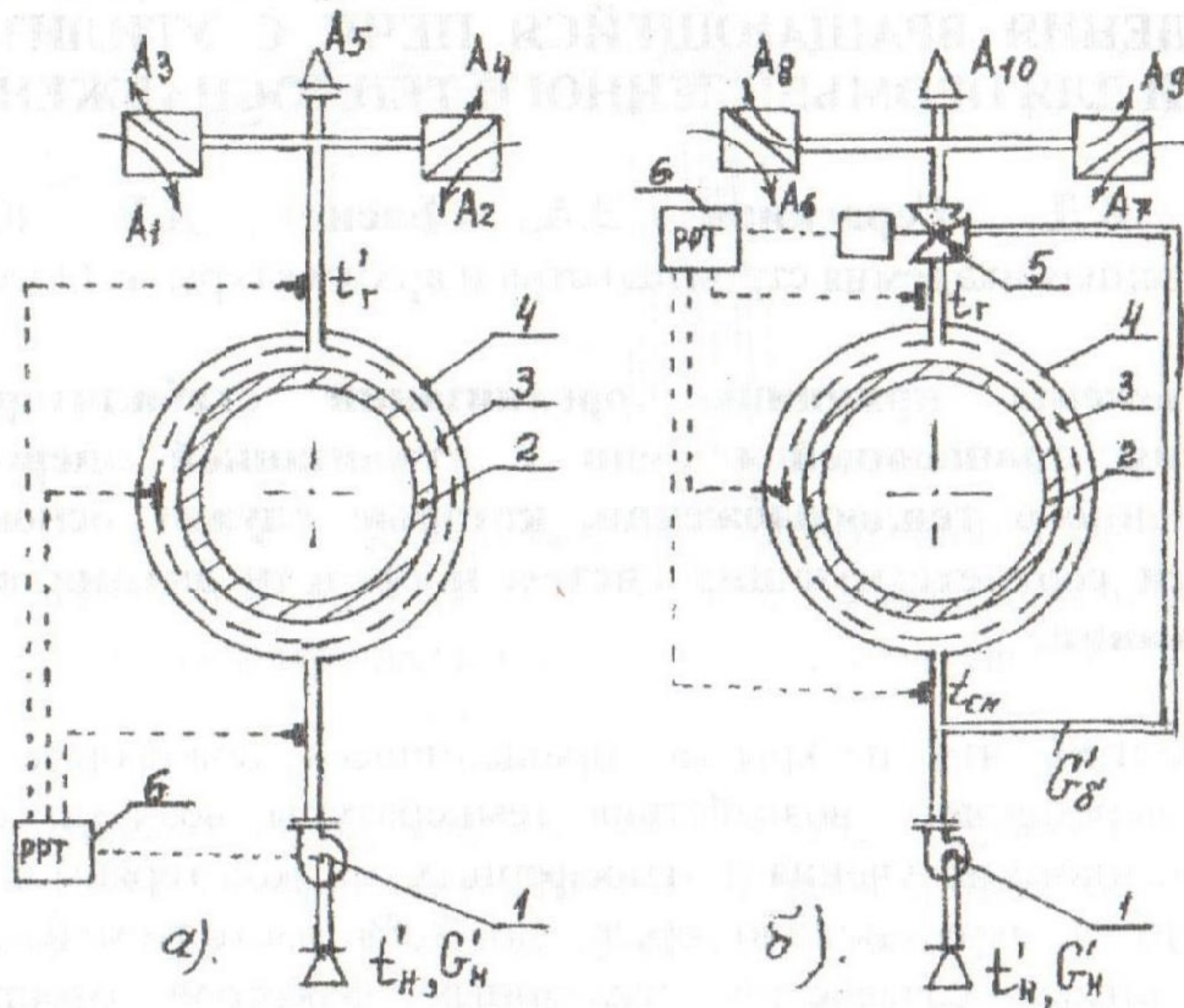


Рис. 1 Принципиальная схема систем автоматического регулирования воздушоструйного охлаждения печи с переменными (а) и постоянными (б) перепадами температур и расходов охлаждающей среды. Условные обозначения: 1-вентилятор; 2-корпус печи; 3-элемент формирования струйного потока; 4-кожух; 5-регулятор расхода; 6-регулятор разности температур;  $A_1 \div A_{10}$  – системы теплоснабжения непосредственного и рекуперативного типа.

При этом отбор необходимого теплового потока осуществляется равномерно при переменных температурных перепадах и расходах теплоносителя в условиях изменяющейся его начальной температуры. При неодинаковых перепадах температур теплоносителя (конечной на выходе и начальной на входе в генератор) изменение интенсивности стабилизирующего теплообмена достигается адекватной корректировкой расхода и интенсивности струйного воздействия теплоносителя на поверхности охлаждения. Это обеспечивает постоянство его средней температуры на всем диапазоне изменения температуры наружного воздуха. Для стабилизации теплообмена на рациональном уровне естественного охлаждения поверхности поддерживается постоянство средней температуры теплоносителя между начальным и конечным ее значением  $t_{ср} = 0,5(t'_Г + t'_н) = const$ .



Закономерность изменения конечной температуры  $t'_r$  теплоносителя обуславливает соответствующее изменение интенсивности теплообмена, в связи с чем она определяется по зависимости  $t'_r = 2 \left[ \tau_{\text{п}} - \alpha_e^p / \alpha'_n (\tau_{\text{п}} - t_{\text{не}}^p) \right] - t'_n, ^\circ\text{C}$  [2].

Теплоснабжение на основе стабилизирующего охлаждения теплоисточников по способу постоянных перепадов температур и расходов охлаждающей среды, рис 1, б, обладает более значимыми возможностями. Его сущность [3] определяется созданием регулируемого равномерного воздействия струйного потока на поверхности охлаждения с автоматическим поддержанием постоянных начальной и конечной температур и расхода теплоносителя ( $(t_r - t_n) = \text{const}$ ,  $G_{\text{п}} = \text{const}$ ). Постоянство начальной температуры теплоносителя достигается регулируемой регенерацией (смесительной либо рекуперативной) части теплоты отработанного потока, а при необходимости – обеспечивается и доохлаждением первичного теплоносителя от внешнего источника. Основой регенеративно-смесительного способа стабилизации охлаждения поверхности является режимное обеспечение совместно с внешним потоком воздуха постоянной начальной, конечной температуры и общего расхода теплоносителя, который при регулируемой интенсивности охлаждения поверхности позволяет достичь необходимую эффективность воздухоструйного теплообмена по сравнению с прямоточным этот способ выгодно отличается не только условиями стабилизации процессов равномерного охлаждения в оптимальном режиме по всей длине поверхности печи, но и возможностью полного исключения "сезонной" неравномерности указанных процессов в направлении удаления отработанных потоков. Изложенные способы дополнительно позволяют извлекать теплоту из окружающего воздуха при его доохлаждении, например, в теплый период года в процессе предварительного нагрева воды для технологического и коммунально-бытового назначения.

Для укрываемого участка печи справедливы соотношения, характеризующие условия стабилизации теплообменных процессов по прямоточному и регенеративно-смесительному способу охлаждения поверхности, соответственно

$$G'_n c (t'_r - t'_n) = \alpha' F (\tau_{\text{п}} - t'_n) = \text{const} \quad (1)$$



$$(G'_H + G'_B)(t'_r - t_{cm}) = \alpha F (\tau_{п} - t_{cm}) = \text{const} \quad (2)$$

Из анализа условий работы предложенных систем охлаждения укрываемого участка печи, возможностей изложенных способов и приведенных соотношений следует, что стабилизация теплообмена в процессе генерация вторичной теплоты с боковой поверхности печи по условиям теплотехнологических требований для вышеприведенных систем определяется следующей закономерностью

$$\tau_{п} - 0,5(t'_H + t'_r) = \text{const} ; \quad \tau_{п} - 0,5(t_{cm} + t_r) = \text{const} . \quad (3)$$

Измерение температур и расходов, которые приведены в зависимостях (1)-(3), производится по традиционным методикам, а температуры на поверхности печи – с использованием подвижного пирометрического датчика по аналогии с [4].

Отклонение значения разности температур по зависимостям (3) является сигналом со стороны регулятора разности температур для исполнительного механизма корректировки общего расхода теплоносителя вентилятором с регулируемым числом оборотов либо регулятором изменения расхода и соответствующей интенсивности струйного воздействия на поверхности охлаждения укрываемого участка печи.

Следует отметить, что более привлекательным выглядит вариант регулирования интенсивности струйного теплообмена по отклонению от установленной температуры на поверхности укрываемого участка печи. Вместе с тем такой подход не позволяет контролировать установленные значения начальной и конечной температуры теплоносителя, что важно, прежде всего, для реализации регенеративного способа стабилизирующего охлаждения поверхности и оценки исходных условий утилизации теплоты абонентскими системами.

#### Вывод

Для систем воздухоструйного охлаждения вращающейся печи с утилизацией энергии для промышленного теплоснабжения установлены принципы стабилизации теплообменных процессов на поверхности, которые служат основой для разработки соответствующих систем и средств автоматического регулирования.

Условные обозначения:  $C_p$  – массовая изобарная теплоемкость, Дж/(кг·°С);  $G$  – расход теплоносителя, кг/(с·м<sup>2</sup>);  $F$  – площадь



охлаждаемой поверхности печи,  $m^2$ ;  $\tau_{п}$  – температура на поверхности печи,  $^{\circ}C$ ;  $\alpha_c^p, \alpha_n'$  – средние коэффициенты теплообмена на поверхности печи по условиям оптимального естественного и искусственного охлаждения,  $Вт/(m^2K)$ ;

### Литература

1. В.Д.Петраш, М.М.Полунин. Метод расчета теплоэнергосберегающих устройств со струйной интенсификацией теплообмена в сносящем потоке // Промышленная теплотехника.– Киев.– 1994.–№4-6.–С.74-80.
2. М.М.Полунин, В.Д.Петраш. Совместная работа теплоутилизирующего комплекса обжиговой вращающейся печи и теплопотребляющих систем // Известия вузов. Строительство.– Новосибирск.– 1996.–№11.–С.90-94.
3. В.Д.Петраш. Основы расчета теплоутилизационных комплексов стабилизирующего охлаждения вращающихся печей обжига строительных материалов // Вісник Академії будівництва України.– Київ.–2000.–8-й випуск.– С.55-58.
4. Воробейчиков Л.Т. Вторичные теплоэнергоресурсы вращающихся печных агрегатов, Будівельник, Київ, 1991, 164 с.