

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

**Кузьменков С.М., асс., Дрюков В.В., к.т.н., доц., Котов А.А., асс.,  
Мовсесян В.Ю., ст. преп.**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены варианты модернизации конвективной поверхности нагрева водогрейных котлов КВГМ–100. В результате выполненных расчетов по предложенной методике показано, что замена в конвективном пучке котельного агрегата КВГМ-100 гладких труб наружным диаметром 28 мм на оребренные трубы наружным диаметром 38 мм позволяет повысить плотность передаваемого теплового потока в 30 раз.

Ключевые слова: водогрейные котлы, конвективная поверхность, тепловой поток.

В настоящее время в Республике Беларусь вопросы экономического развития страны и её энергетической безопасности тесно связаны с энергоэффективностью. При этом большое количество энергоресурсов потребляется котельными, оборудованными водогрейными котлами КВГМ, следовательно, их модернизация должна обеспечить существенный экономический эффект.

Водогрейные стационарные котлы КВГМ-100 теплопроизводительностью 116,3 МВт предназначены для получения горячей воды с номинальной температурой 150 °С, используемой в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения промышленного и бытового назначения, а также для технологических целей. Котлы имеют П-образную компоновку, топочную камеру (L = 6208 мм) и конвективную шахту (L = 3200 мм). На котельной «Южная» (г. Витебск) установлены 5 водогрейных котлов КВГМ–100. В настоящее время на основе практики эксплуатации признано, что конвективная поверхность нагрева из труб 28×3 мм в водогрейных котлах КВГМ является их конструктивно наиболее слабым местом. Её модернизация позволит достичь существенной экономии топлива, а также увеличить эксплуатационную надежность и ресурс работы конвективной поверхности.

При установившемся режиме работы котла теплообмен через конвективные поверхности нагрева остается стабильным, поэтому при разработке математической модели можно считать процесс стационарным.

Интенсивность переноса тепла через стенку трубы может быть определена согласно уравнению теплопередачи

$$q_l = \pi \cdot k_l \cdot (t_{жс1} - t_{жс2}), \text{ Вт/м}, \quad (1)$$

где  $t_{жс1}$ ,  $t_{жс2}$  – температура соответственно горячей и холодной среды, °С;  $k_l$  – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/м·град:

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda_{cm}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}}; \quad (2)$$

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – в общем случае суммарные коэффициенты теплоотдачи с внутренней и наружной стороны трубы, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $d_1$ ,  $d_2$  – внутренний и наружный диаметры трубы, м;  $\lambda_{cm}$  – коэффициент теплопроводности материала трубы, для стальных труб  $\lambda_{cm} = 45$  Вт/м·град.

В процессе теплопереноса от дымовых газов к воде в конвективном пучке котла основную роль играет конвективный теплообмен, однако конвективные пучки получают теплоту не только путем конвективного теплообмена, но и посредством тепловосприятия прямого излучения топки. При расчете такой поверхности нагрева необходимо учитывать

интенсивность теплоотдачи от газов к поверхности труб пучка как за счет конвективного теплообмена, так и за счет теплообмена излучением. В этом случае суммарный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l. \quad (3)$$

Для нахождения значения коэффициента теплоотдачи конвекцией  $\alpha_k$  необходимо использовать критериальные уравнения. При вынужденной конвекции критериальное уравнение в общем случае имеет вид:

$$Nu = A \cdot Re^m \cdot Pr^n. \quad (4)$$

В этом уравнении:  $Nu$  – число Нуссельта,

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot l}{\lambda_{жс}}; \quad (5)$$

$Re$  – критерий Рейнольдса,

$$Re = \frac{w \cdot l}{\nu_{жс}}; \quad (6)$$

$Pr$  – критерий Прандтля. Здесь  $l$  – определяющий размер тела,  $\lambda_{жс}$  – коэффициент теплопроводности среды,  $\nu_{жс}$  – коэффициент кинематической вязкости среды,  $w$  – скорость потока. Значения физических параметров среды ( $\lambda_{жс}$ ,  $\nu_{жс}$ ,  $Pr$ ) определяются по соответствующим таблицам параметров в зависимости от определяющей температуры.

При вынужденном движении среды в трубах для случая турбулентного режима движения, что будет иметь место при  $Re > 10^4$ , критериальное уравнение принимает вид [2]:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}. \quad (7)$$

В этом случае определяющим размером будет являться внутренний диаметр трубы ( $l = d_1$ ), а определяющей температурой – средняя температура воды в трубе  $t_{жс1}$ .

При расчете теплопередачи через стенку оребренной трубы выражение (2) принимает вид:

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda_{см}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2 \cdot \psi}}. \quad (8)$$

Приравняв значения внешних линейных термических сопротивлений оребренной трубы из формулы (14), можно определить необходимое значение коэффициента увеличения поверхности:

$$\psi = \frac{\alpha_1 \cdot d_1}{\alpha_2 \cdot d_2}. \quad (9)$$

На практике при оребрении труб небольшого диаметра (до 50 мм) толщина ребра часто принимается равной расстоянию между соседними ребрами, то есть составляет половину шага оребрения. Для обеспечения возможности размещения оребренных труб предлагается увеличить продольный шаг до 80 мм, а для сохранения при уменьшившемся количестве труб прежней суммарной площади проходного сечения трубы размером 28×3 мм заменить трубами размером 38×4 мм.

Из выполненных расчетов следует, что замена в конвективном пучке котельного агрегата КВГМ-100 гладких труб наружным диаметром 28 мм на оребренные трубы наружным диаметром 38 мм с коэффициентом оребрения  $\varphi = 46,6$  позволяет повысить плотность передаваемого теплового потока в 30 раз, с 3271,8 Вт/м до 100653,0 Вт/м. Такая

эффективность теплообмена в конвективном пучке обеспечит повышение КПД котла в целом и, следовательно, снижение потребления топлива котельной. На котельной «Южная» (г. Витебск) котлы КВГМ–100 потребляют свыше 10 тыс. т.у.т. в год, поэтому мероприятия по модернизации этих котлов способны обеспечить экономию сотен т.у.т.

#### Список использованных источников

1. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача / В. В. Нащокин. – Москва. – 469 с.
2. Исаченко, В. П., Осипова, В. А., Сукомел, А. С. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – Москва. – 416 с.
3. Лебедев, В. М. Тепловой расчет котельных агрегатов средней паропроизводительности / В. М. Лебедев. – Москва. – 208 с.

УДК 621:658.512

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ

*Беляков Н.В., к.т.н., доц., Беган В.В., студ., Янович В.В., студ.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. На основе анализа условий врезания фрез и их геометрических параметров предложен подход к моделированию рациональных положений систем координат заготовки и инструмента в начальной и конечной точках траекторий резания, а также величин врезания инструментов при торцовом фрезеровании современными твердосплавными пластинами.

Ключевые слова: торцевая фреза, основное время, врезание, рабочий ход, подготовка производства, машиностроение.

Целью работы является разработка системы автоматизированного расчета минимальных величин врезания и перебегов торцевых фрез, координат начального и конечного положения инструмента, а также основного времени для программирования обработки плоских поверхностей на станках с ЧПУ.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи: 1) разработаны общие модели для определения затрат основного (машинного) времени в зависимости от характера поверхности врезания заготовки, симметричности расположения фрезы относительно заготовки, траекторий её движения и формы твердосплавной пластины; 2) составлены расчетные схемы и математические модели определения минимальных величин врезания и перебега торцевых фрез, координат начального и конечного положения инструмента; 3) разработан алгоритм функционирования и общая структура системы поддержки принятия решений для определения минимальных величин врезания и перебега торцевых фрез, координат начального и конечного положения инструмента, а также определения основного времени при обработке плоских поверхностей; 4) разработано программное обеспечение реализации моделей, проведена его комплексная отладка и предварительные испытания.

При формировании общей модели для определения затрат основного (машинного) времени установлено, что принципиальное отличие имеют варианты врезания (выхода) торцевой фрезы либо по прямой (расположенной перпендикулярно направлению подачи или под произвольным углом), либо по окружности. Прочие варианты могут быть к ним приведены. Основными плоскими конструктивными элементами обрабатываемыми торцевыми фрезами, являются плоскости и полукруглые и открытые прямые и наклонные уступы.

Построены общие расчётные схемы для определения длины рабочего хода инструмента  $L_{рх}$ , величины врезания  $L_{вр}$ , а также координат начального ( $X_n$  и  $Y_n$ ) и конечного ( $X_k$  и  $Y_k$ ) положения инструмента относительно системы координат заготовки (рис. 1).

Показателями режима резания при торцовом фрезеровании являются: глубина резания