

УДК 621. 311

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛОАГРЕГАТОВ ТЭС  
ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ТЕПЛООБМЕНА****<sup>1</sup>Ростунцова И.А., <sup>2</sup>Шевченко Н.Ю., <sup>2</sup>Сошинов А.Г.**<sup>1</sup> *ФГБОУ ВО Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,  
Саратов,*<sup>2</sup> *ФГБОУ ВПО Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО Волгоградский  
государственный технический университет, Камышин, e-mail: kti@kti.ru*

Тепловыми электрическими станциями в России производится более 65% электроэнергии. Основное оборудование многих электростанций выработало свой ресурс. Безотказность его работы постоянно снижается. Поэтому модернизация и реконструкция тепловых электрических станций становится актуальной задачей. В этих условиях весьма оправдано внедрение оборудования на базе блоков повышенной эффективности. В статье рассматривается энергоблок, в состав которого входит котел с применением выходного пароперегревателя с оребренной поверхностью. Рассматриваются методические положения конструкторского расчета площади теплообмена с учетом введения оребренных поверхностей нагрева котлоагрегата. Определена тепловая эффективность внедрения оребрения за счет снижения температуры уходящих газов и расхода топлива на котел и увеличения коэффициента полезного действия котлоагрегата. Выявлено, что предложенный вариант модернизации повышает КПД котельной установки; уменьшает расход топлива на установку, интенсифицирует теплообмен за счет увеличения коэффициента теплопередачи; сокращает расход трубы, повышает экономичность и ресурс работы котла.

**Ключевые слова:** конструкторский расчет, площадь теплообмена, оребрение поверхности нагрева, температура уходящих газов, КПД котлоагрегата

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF BOILERS TPP INTENSIFICATION OF HEAT  
EXCHANGE SCHEDULE****<sup>1</sup>Rostovtseva I.A.<sup>1</sup>, <sup>2</sup>Shevchenko N. Yu., <sup>2</sup>Soshinov A.G.**<sup>1</sup> *FGBOU Saratov State Technical University, Saratov,*<sup>2</sup> *Kamyshin Institute of Technology (branch) of state educational institution of higher Education  
Volograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: kti@kti.ru*

Thermal power plants of more than 65% of the electricity produced in Russia. Hoz mainly equipment of many power stations worn out. Reliability of his work post-stantly decreasing. Therefore, modernization and reconstruction of thermal power plants is becoming an urgent task. Under these conditions, very justified the introduction of equipment based on rose-shennoy efficiency units. In the article the unit, which includes the boiler with Prima neniem superheater outlet with a ribbed surface. The methodical in calculating the heat decomposition of the design area, taking into account the introduction of the finned heating surfaces of the boiler unit. Determined implementation of the thermal efficiency of finning by lowering the temperature of the exhaust gases and fuel consumption for the boiler and increase the efficiency of the action-tion boiler. It was revealed that the proposed modernization of the option increases the efficiency of the boiler plant; It reduces fuel consumption by setting intensifies the heat transfer by increasing the heat transfer coefficient; reduces flow tube increases the efficiency and service life of the boiler.

**Keywords:** design calculations, heat transfer area, the fins of the heating surface, flue gas temperature, boiler efficiency

Современное состояние отечественной теплоэнергетики характеризуется тем, что существенно сократилась потребность в электрической энергии, а потребность в тепловой энергии возрастает, поэтому в некоторых районах наблюдается ее дефицит. Заметная часть оборудования электростанций простаивает или недогружена.

Основное оборудование многих электростанций морально и физически устарело, снизилась надежность его работы, увеличились расходы на ремонты. Оборудование тепловых электрических станций перестает удовлетворять возрастающим экологическим требованиям, требуется все больше средств на защиту окружающей среды от вредных выбросов электростан-

ций. Назревает необходимость вывода из эксплуатации большей части отработавшего оборудования, замены его новым, более экономичным, модернизировать действующие электростанции. При решении этих задач необходимо учитывать следующие изменения в топливоснабжении и стоимости энергооборудования: газомазутные блоки, главным образом, будут снабжаться газом, поскольку поставки мазута в энергетику значительно сокращаются. Известно, что средств для значительного ввода новых мощностей, сейчас в стране нет. В этих условиях весьма оправдано внедрение мало затратной модернизации оборудования на базе блоков повышенной эффективности (БПЭ). В качестве таких энергоблоков рас-

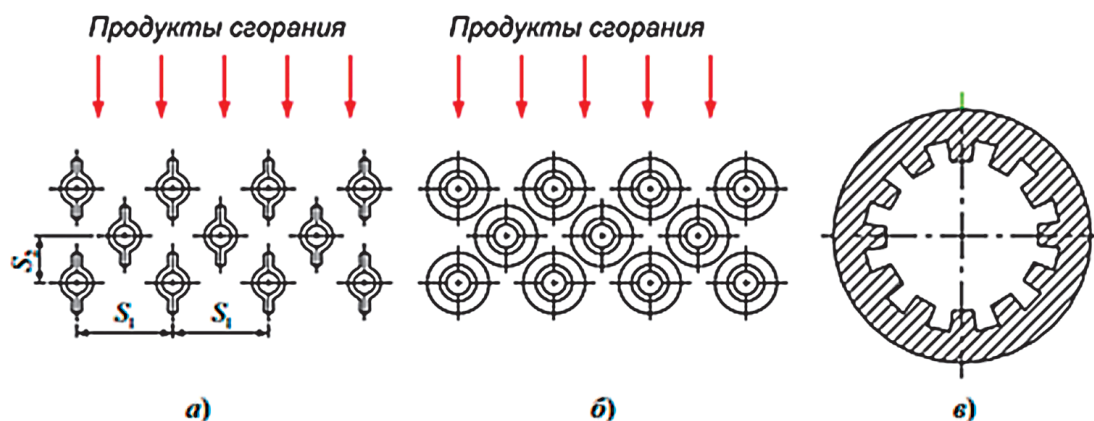


Рис.1. Трубы пароперегревателя с разной системой оребрения: а) плавниковые; б) с поперечно кольцевым оребрением; в) с внутренним продольным оребрением

смагивается энергоблок, в состав которого входит котел с применением оребренных поверхностей нагрева [2].

Характерной особенностью мощных энергоблоков с промежуточным перегревом является низкое гидравлическое сопротивление в области промежуточного пароперегревателя. Это ограничивает массовую скорость пара при большом удельном его объеме, требует применение труб большого диаметра, что снижает коэффициент теплоотдачи на внутренней стенке. Низкие значения внутреннего коэффициента теплоотдачи  $\alpha_2$  при интенсивном наружном обогреве поверхности пароперегревателя, особенно в выходной его части, вызывает увеличение температуры стенки трубы. Уменьшить температуру стенки такого пароперегревателя можно, расположив его в зоне умеренного обогрева, но это вызовет снижение температурного напора температур и значительного увеличения его поверхности нагрева. Интенсифицировать внутренний теплообмен можно применением труб с различными конструкциями оребрения: внешнее плавниковое оребрение; внешнее поперечно кольцевое оребрение и внутреннее продольное оребрением (рис.1).

Наиболее экономичной для пароперегревателя является конструкция с внутренним продольным оребрением (рис.1, в). Такая конструкция обеспечивает повышенный отвод теплоты к пару и уменьшает температуру стенки.

Таким образом, ребристые поверхности нагрева применяются в тех случаях, когда теплообмен происходит между двумя теплоносителями с большим и малым коэффициентами теплоотдачи. Увеличивая поверхность теплообмена со стороны теплоносителя с малым коэффициентом теплоотдачи путем ее оребрения, увеличи-

вают количество тепла, передаваемого от греющего к нагреваемому теплоносителю.

Установлено, что с уменьшением толщины ребра снижается абсолютное количество теплоты  $Q_{pc}$ , однако удельная теплопроизводительность ребра возрастает (рис. 2) [1].

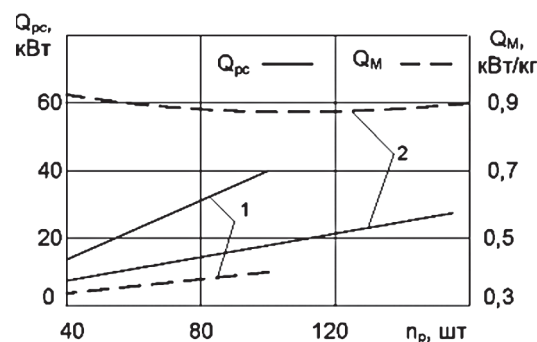


Рис.2. Зависимость абсолютного и удельного количества теплоты от количества ребер при различной толщине Вариант 1 б- 5 мм; 2 – б=1 мм.

Применение развитых поверхностей нагрева за счет их оребрения позволяет увеличить теплообмен за счет искусственной турбулизации, при этом увеличивается тепловосприятие поверхности нагрева  $Q_{гр}$  кДж/с. В то же время оребрение поверхности нагрева позволяет достичь оптимального уменьшения диаметра труб и снизить общие габариты поверхности теплообмена. Увеличение тепловосприятия поверхности теплообмена обеспечит более глубокое снижение температуры уходящих газов в котле –  $t_{ух}$ , повышая его КПД и снижая тем самым расход топлива на котел.

#### Вариант модернизации теплоносителя котлоагрегата ТГМ-96

Для котлоагрегата ТГМ-96, входящий в состав энергоблока Т-110/120-130 про-

ведена оценка эффективности интенсификации теплообмена введением оребренных поверхностей нагрева. В качестве варианта модернизации предлагается заменить поверхность теплообмена выходного пароперегревателя заводского исполнения на поверхность нагрева из труб, имеющих внутреннее спирально-ленточное оребрение [1]. Конструкция оребрения представлена на рис.3.

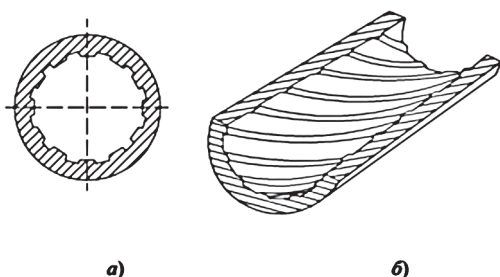


Рис.3. Конструкция спирально-ленточного внутреннего оребрения

Техническая характеристика котлоагрегата по эксплуатационным данным представлена в табл. 1.

Техническая характеристика котлоагрегата ТГМП-96Б

Тип котлоагрегата	ТГМ-96Б
Маркировка по ГОСТ3619-19	Е-500-13,8-560
Паропроизводительность	500 т/ч
Давление острого пара	140 ата
Тип котла	с естественной циркуляцией
Температура острого пара	560 °С
Топливо	Природный газ
Температура уходящих газов	155 °С
Температура питательной воды	230 °С
Общее число горелок	6 шт
КПД котлоагрегата	92,6 %
Объем топочной камеры	1865,4 м <sup>3</sup>

### Конструкторский расчет площади поверхности теплообмена ВПП

С использованием методики [3] определяются площадь поверхности теплообмена без учета оребрения.

Число трубок в одном ряду составляет:  $Z_1=190$ , Коэффициент теплопередачи ВПП определится по выражению:

$$K = \psi \frac{a_1 \cdot a_2}{a_1 + a_2}, \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (1)$$

где  $\psi$  - коэффициент тепловой эффективности;

$a_1, a_2$  - коэффициенты теплоотдачи от уходящих газов к стенке трубки, и от стенки к пару с учетом загрязнения поверхности соответственно,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ ;

Расчетную поверхность нагрева определяют из основного уравнения теплопередачи:

$$F_{ВПП} = \frac{Q_0 \cdot B \cdot 10^3}{K \cdot \Delta T}, м^2 \quad (2)$$

где  $Q_0$  - тепловосприятие поверхности нагрева ВПП, кДж/с;

$B$  - расход топлива на котел, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta T$  - средний температурный напор, °С.

### Методика определения площади поверхности ВПП с учетом оребрения

Число рядов труб в пучке  $Z_2=12$ . В одном пучке -2280 трубок.

Принимаем наружный диаметр ребер  $D = 55$ мм, толщина  $\delta_p=0,3$ мм.

Выбирается материал труб ВПП: сталь 12×1МФ.

Число ребер на 1 м длины трубки равно:  $n=50$  при шаге ребер  $v=20$  мм.

Таблица 1

Приведенный коэффициент теплоотдачи от стенки к пару определяется по формуле:

$$\alpha_{2пр} = \alpha_2 \cdot \left( \frac{F_p}{F_{pc}} \cdot \frac{Q_0}{Q_1} \cdot \frac{F_{II}}{F_{pc}} \right) \quad (3)$$

где  $F_p$  - площадь поверхности ребра;

$F_n$  - поверхность 1 м длины трубы, свободная от ребер;

$F_{pc}$  - полная ребристая поверхность;

$\frac{Q_0}{Q_1}$  - поправочный коэффициент.

Коэффициент теплопередачи чистой трубки, отнесенной к ребристой поверхности будет равен:

$$k_{pc} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c}\right) \cdot \left(\frac{F_{pc}}{\alpha_{2np}}\right)} \quad (4)$$

Коэффициент оребрения определится по выражению:  $\frac{F_{pc}}{F_c}$ ,

где  $F_c$  площадь внутренней поверхности трубы.

Коэффициент теплопередачи для чистой оребренной трубы будет равен:

$$K_c = \frac{K_{pc} \cdot F_{pc}}{F_c}, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C} \quad (5)$$

Площадь поверхности ВПП с оребрением определяется по уравнению 2.

Результаты теплового конструкторского расчета представлены табл. 2.

### Тепловая эффективность оребрения выходного пароперегревателя котла

В табл.3 представлены результаты расчета тепловой эффективности оребрения ВПП котла. Эффективность котла достигается за счет уменьшения температуры уходящих газов и потерь теплоты с уходящими газами, вследствие чего увеличивается КПД котлоагрегата и снижается расход топлива.

Основными достоинствами оребрения котлоагрегата являются: повышение КПД котельной установки; увеличение более 50% коэффициента теплопередачи; сокращение расхода трубы до 40%; снижение на 30-40%; общего веса теплообменника; увеличение в 2-3 раза ресурса работы поверхности нагрева.

### Выводы

1. В результате введения оребренных поверхностей нагрева снижается площадь теплообмена выходного пароперегревателя котла.

Таблица 2

Результаты конструкторского расчета выходного пароперегревателя

Наименование параметров	Сравниваемые варианты	
	Штатный вариант – поверхность нагрева заводской конструкции	Вариант новой конструкции ВПП – поверхность нагрева из труб, имеющих спирально-ленточное оребрение
Типоразмер трубы, $d_{н\text{хст}}$	28x3,0	28x3,0
Тип оребрения	гладкотрубная	поперечно-спиральная
Шаги шахматного трубного пучка, $S_1/S_2$ , мм	64/33	128/27
Число пакетов по высоте газохода, шт	2	2
Количество змеевиков, шт	704	352
Количество труб в змеевике, шт	8	7
Число параллельно включенных труб в секции	16	7
Гидравлическое сопротивление, кПа	75	50
Тепловосприятие поверхности нагрева	2698	2845
Средний коэффициент теплопередачи поверхности ВПП, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	91	150
Средний температурный напор, $\Delta T$ , $^\circ C$	400	440
Полная площадь поверхности нагрева $м^2$	758	485

Вариант конструкции ВПП с оребренной поверхностью имеет меньшую общую площадь, следовательно, у него будут и меньшие габаритные размеры.

2. Уменьшается температура уходящих газов и потери теплоты с уходящими газами, вследствие чего увеличивается КПД котлоагрегата и снижается расход топлива.

**Таблица 3**

Расчет тепловой эффективности котлоагрегата при проведении оребрения ВПП

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Расчетные формулы	Значение показателя
Уменьшение температуры уходящих газов при внедрении оребренной поверхности ВПП	$\Delta t_{yx}$	°С	$T_{п} - Qm \cdot 10^6 / \Delta F_{ВПП} (k_{ВПП(p)} - k_{ВПП})$	2,6
Температура уходящих газов с учетом оребрения	$t_{yx}$	°С	$t_{yx} - \Delta t_{yx(p)}$	152,4
Теоретические объемы: -дымовых газов -воздуха	$V_{г(0)}$ $V_0$	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	По данным [3]	10,20 8,99
Объем ух. газов при $\alpha=1,13$	$V_p$	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{p(0)} + (\alpha_{yx})V_0$	11,37
Энтальпия ух. газов при $C_p=1,097$ кДж/м <sup>3</sup> ·С	$H_{г(0)}$	кДж/м <sup>3</sup>	$V_p \cdot C_p \cdot t_{yx}$	1966,6
Потеря тепла с ух. газами при $Q_2=H_g$ $Q_{н(p)}=33,93$ кДж/нм <sup>3</sup>	$q_2$	В долях	$Q_2 / Q_{н(p)}$	0,057
КПД котла при применении оребренных поверхностей	$\eta$	В долях	$1 - q_2$	0,942
Расход топлива на котел с учетом оребрения	$B$	м <sup>3</sup> /с	$Q_{ка} / \eta \cdot Q_{н(p)}$	8,11
Уменьшение расхода топлива на котел	$\Delta B$	м <sup>3</sup> /с	$B - B_p$	0,077
Число часов использования максимальной нагрузки котла	$h_{max}$	ч/год	принято	3500
Годовая экономия топлива	$\Delta B_{p(год)}$	тыс. м <sup>3</sup> /год	$\Delta B_p \cdot h_{max}$	969,5
Экономия затрат на топливо при оребрении ВПП	$\Delta Z_T$	млн. руб/год	$\Delta B_{p(газ)} \cdot Ц_{газ}$	1,163

Годовая экономия топлива будет равна 969,5 тыс. м<sup>3</sup>/год и экономия затрат на топливо составит 1,163 млн. руб. /год.

**Список литературы**

1. Медведев В.А., Пономарева Н.В., Николаев В.А. Модернизация действующих котельных установок с применением оребренных поверхностей нагрева // Материалы

межвузовского научного семинара по проблемам теплоэнергетики /Сарат. государ. технич. ун-т. - Саратов, 1996.-С. 38-41. Киселев Н.А. Котельные установки. М.: Высшая школа. 1979, 160 с.

2. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М. Энергия, 1976. 448 с.

3. Тепловой расчет котлов (нормативный метод, изд. 3-е перераб. и доп.). СПб: ВТИ-ЦКТИ. 1998