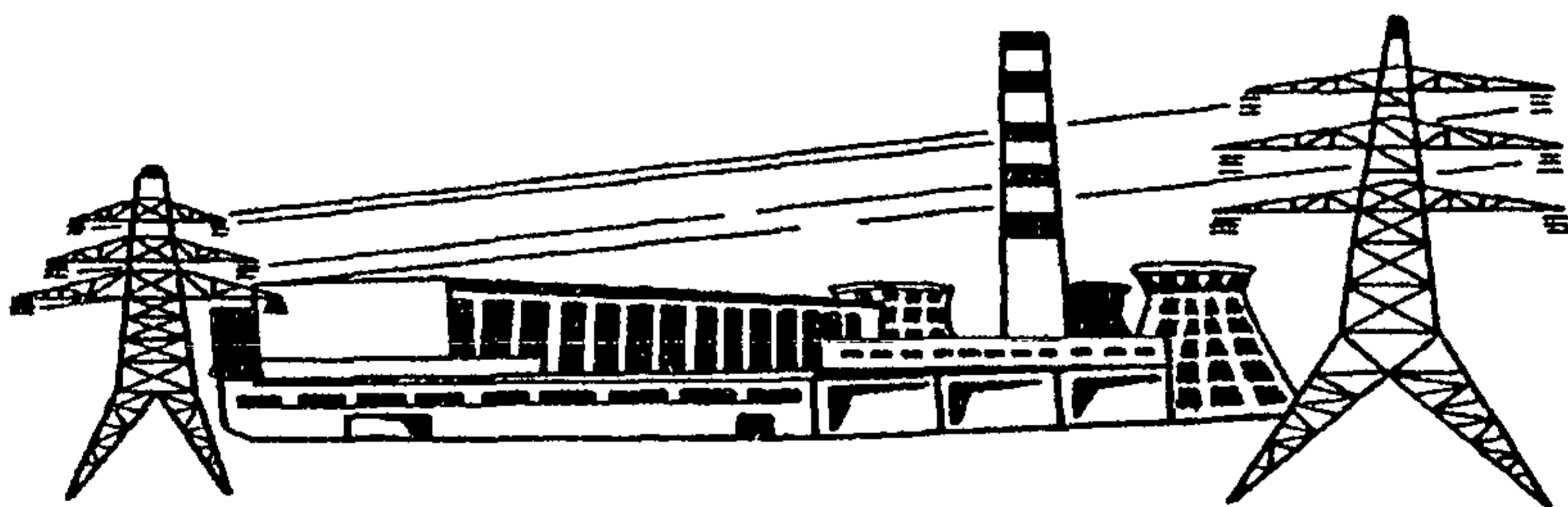


**РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ "ЕЭС РОССИИ"**

---

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ  
ОРЕБРЕННЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ  
И ИХ ЗОЛОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ**

**РД 153-34.1-26.519-98**



**ОРГРЭС  
Москва 2000**

**Р а з р а б о т а н о** Открытым акционерным обществом "Уральский теплотехнический научно-исследовательский институт" (УралВТИ)

**И с п о л н я т е л и** А.А. ВАСИЛЬЕВ, В.И. ДОМБРОВСКИЙ,  
М.И. МАРТЫНЫЧЕВ, В.А. ПЕТРОВ

**У т в е р ж д е н о** Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО "ЕЭС России" 23.01.98 г.

Первый заместитель начальника **А.П. БЕРСЕНЕВ**

Срок действия установлен  
с 01.07.98  
до 01.07.03

Настоящий руководящий документ (РД) распространяется на водяные экономайзеры стационарных паровых котлов с поперечным спирально-ленточным оребрением и устанавливает для них методы расчета золосого износа, срока службы и максимально допустимой скорости газов при заданном сроке службы. РД содержит рекомендации по проектированию экономайзеров из оребренных труб и их устройств золозащиты.

РД предназначен для предприятий и организаций, занимающихся проектированием, изготовлением, ремонтом и эксплуатацией паровых котлов.

## 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$U_{\text{макс}}$  — максимальное значение наибольшей глубины золосого износа труб в пучке, мм.

$U_{\text{макс}}^{\text{доп}}$  — максимальное значение наибольшей допустимой глубины золосого износа труб в пучке, мм.

$R_{90}$  — остаток золы на сите 90 мкм, %.

$\alpha_T$  — коэффициент абразивности золы при  $R_{90} = 20\%$ , кг/Дж.

$\alpha$  — коэффициент абразивности золы при  $R_{90}$ , не равном 20%, кг/Дж.

$K_n$  — максимальная величина комплексного коэффициента неравномерностей полей скоростей газов, концентраций и фракционного состава золы на выходе из поворотной камеры котла при П- и Т-образной компоновке.

$\mu_{\text{зол}}$  — средняя концентрация золы в газах, г/м<sup>3</sup>.

$W_2$  — средняя скорость газов в суженном сечении пучка труб при температуре на входе, м/с.

$W_2^{\text{н}}$  — средняя скорость газов в суженном сечении пучка труб при температуре на входе при номинальной нагрузке котла, м/с.

$W_2^H$  макс – максимально допустимая скорость газов при номинальной нагрузке котла, м/с.

$T$  – время работы экономайзера, ч.

$T_{рес}$  – ресурс работы экономайзера, ч.

$T_{рес}^H$  – нормативный ресурс работы экономайзера, ч.

$d_H$  – наружный диаметр труб, мм(м).

$\delta$  – толщина стенки труб, мм(м).

$h_{р\delta}$  – высота ребра, мм(м).

$S_{р\delta}$  – шаг ребер, мм(м)

$\delta_{р\delta}$  – толщина ребра, мм(м)

$d_1 = d_H + 2h_{р\delta}$  – диаметр оребрения, мм(м).

$S_1$  – поперечный шаг труб; мм(м).

$S_2$  – продольный шаг труб, мм(м).

$\tilde{b}_1$  – относительный поперечный шаг труб.

$\tilde{b}_2$  – относительный продольный шаг труб.

$K_H$  – коэффициент, учитывающий увеличение износа труб при высоте ребра более 10 мм.

$K_{\tilde{b}_2}$  – коэффициент, учитывающий увеличение износа при  $\tilde{b}_2$  менее 1,9.

$C$  – эмпирический коэффициент в формуле для расчета  $T_{макс}$ .

$K_0$  – отношение расчетной скорости газов при номинальной нагрузке котла к скорости при среднеэксплуатационной нагрузке.

$A^P$  – зольность угля на рабочую массу топлива, %.

$a_{ун}$  – доля золы топлива, уносимой газами.

$V_2$  – объем дымовых газов при нормальных физических условиях, приходящихся на 1 кг топлива, м<sup>3</sup>/кг.

$\vartheta_2$  – температура газов на входе в пучок труб, °С.

$M$  – коэффициент истираемости металла труб.

## 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

РД основывается на стендовых исследованиях золового износа труб со спирально-ленточным оребрением в шахматных и коридорных пучках, а также аэродинамики золозащитных устройств гибов змеевиков. Производились измерения глубин износов труб со спирально-ленточным оребрением экономайзера, отработавшего 134 тыс.ч.

На котлах исследовались неравномерности полей скоростей газов, концентраций и фракционного состава золы в конвективных шахтах.

До сих пор отсутствуют нормативные методы расчета износа труб со спирально-ленточным оребрением. При разработке методики расчета золового износа оребренных труб использовались общие принципы построения формулы расчета износа гладкотрубных шахматных пучков труб Норм теплового расчета котельных агрегатов.

### 3. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ НАИБОЛЬШЕЙ ГЛУБИНЫ ЗОЛОВОГО ИЗНОСА СПИРАЛЬНО-ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ В ПУЧКЕ

#### 3.1. Основные уравнения

3.1.1. При отсутствии сведений о фракционном составе золы максимальное значение наибольшей глубины золowego износа пучка спирально-оребранных труб приближенно определяется по формуле, полученной при  $R_{90} = 20\%$ .

$$J_{\max} = c K_H K_h K_{\beta_2} M a_1 \mu_{\text{зол}} W_2^3 \tau \quad \text{мм. (1)}$$

Значения  $\mu_{\text{зол}}$  и  $W_2$  определяются по температуре газов на входе в пучок.

Комплексный коэффициент неравномерности  $K_H$  равен 1,7.

3.1.2. При известной величине  $R_{90}^i$   $J_{\max}$  определяется по формуле

$$J_{\max} = c K_H K_h K_{\beta_2} M a_1 \mu_{\text{зол}} W_2^3 \tau \quad \text{мм. (2)}$$

Коэффициент  $K_H = 1,7$ .

#### 3.2. Коэффициенты $c$ , $K_h$ и $K_{\beta_2}$

Значения коэффициентов  $c$ ,  $K_h$  и  $K_{\beta_2}$  в зависимости от типа пучка,  $h_{p\beta}$ ,  $\beta_1$  и формы ребра приведены в табл. I.

Таблица I

Тип пучка	$h_{p\beta}$	Форма ребра	$\beta_1$	$\beta_2$	$c$	$K_h$	$K_{\beta_2}$
Шахматный	10	Прямые	$\geq 3,3$	1,9	0,077	1	1
	10	"	$\geq 3,5$	1,5	0,077	1	1,3
	15	"	$\geq 3,6$	1,9	0,077	1,5	1
	15	Подогнутые с боков	$\geq 3,0$	1,8	0,077	1,1	1
Коридорный	10	Прямые	1,88	1,88	0,010	1	1
	10	"	1,88	3,28	0,025	1	1
	10	"	3,13	1,88	0,016	1	1

Допускается интерполяция и в небольших пределах экстраполяция величин коэффициентов.

Коэффициент истираемости материала труб  $M$  принят для Ст20 равным единице.

### 3.3. Коэффициент абразивности золы

Для основных углей коэффициенты абразивности золы при  $R_{90} = 20\%$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

Месторождение	Коэффициент абразивности $\alpha_T \cdot 10^9$ , кг/Дж
Экибастузское	22
Куучекинское	17,3
Бикинское	17
Подмосковное	15
Воркутинское	11,3
Чихезское	11
Гусиноозерское	11
Челябинское	9,3
Ангренское	8
Кизеловское	8
Кузнецкое (СС)	8
Львов-Волынское	6
Эстонские сланцы	6
Богословское	5,1
Борезовское	5
Ирша-Бородинское	3

Коэффициент абразивности золы  $\alpha$  при  $R_{90}^i$ , не равных 20%, определяется по формуле

$$\alpha = \alpha_T \left[ 1 + 0,03 (R_{90}^i - 20) \right]. \quad (3)$$

### 3.4. Концентрация золы в газах

Концентрация золы в газах рассчитывается по формуле

$$N_{\text{зол}} = \frac{10 A^P \alpha_{\text{ун}}}{V_2} \frac{273}{v_2 + 273} \text{ г/м}^3. \quad (4)$$

## 4. РАСЧЕТ РЕСУРСА РАБОТЫ ОРЕБРЕННОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА И МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫХ СКОРОСТЕЙ ГАЗОВ

### 4.1. Расчетные формулы

4.1.1. Расчет ресурса работы оребренного экономайзера при использовании формулы (1) производится по формуле

$$\tau_{рес} = \frac{\mathcal{J}_{макс}^{доп}}{c \kappa_H \kappa_h \kappa_{б_2} M a_T \mu_{зол} W_2^3} \text{ ч.} \quad (5)$$

4.1.2. Расчет ресурса работы оребренного экономайзера при использовании формулы (2) производится по формуле

$$\tau_{рес} = \frac{\mathcal{J}_{макс}^{доп}}{c \kappa_H \kappa_h \kappa_{б_2} M a \mu_{зол} W_2^3} \text{ ч.} \quad (6)$$

4.1.3. Расчет максимально допустимой скорости газов в оребренном экономайзере при использовании формулы (1) производится по формуле

$$W_{2макс}^{доп} = \kappa_{\infty} \sqrt[3]{\frac{\mathcal{J}_{макс}^{доп}}{c \kappa_H \kappa_h \kappa_{б_2} M a_T \mu_{зол} \tau_{рес}^H}} \text{ м/с.} \quad (7)$$

4.1.4. Расчет максимально допустимой скорости газов в оребренном экономайзере при использовании формулы (2) производится по формуле

$$W_{2макс}^{доп} = \kappa_{\infty} \sqrt[3]{\frac{\mathcal{J}_{макс}^{доп}}{c \kappa_H \kappa_h \kappa_{б_2} M a \mu_{зол} \tau_{рес}^H}} \text{ м/с.} \quad (8)$$

### 4.2. Коэффициенты формул (5), (6), (7) и (8)

Значения коэффициентов  $c$ ,  $\kappa_H$  и  $\kappa_{б_2}$  принимаются по табл.1, значения коэффициента абразивности  $a_T$  — по табл.2 и рассчитываются по формуле (3).

4.3. Максимальное значение наибольшей допустимой глубины золотого износа труб

Величина  $\mathcal{J}_{макс}^{доп}$  определяется в зависимости от первоначальной толщины и минимально допустимой остаточной толщины стенки труб, определяемой по Нормам расчета котлов на прочность (ОСТ 108.031.08-85, ОСТ 108.031.09-85).

4.4. Нормативный срок службы оребренных экономайзеров (нормативный ресурс)

Нормативным ресурсом  $\tau_{рес}^H$  следует считать 130000ч работы экономайзера.

### 4.5. Коэффициент $\kappa_{\infty}$

Коэффициент  $\kappa_{\infty}$  принимается равным 1,2.



## 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

5.1. Для экономайзеров со спирально-ленточным оребрением труб могут применяться пучки как с шахматным, так и с коридорным расположением труб.

Выбор типа пучка должен производиться на основе технико-экономических расчетов при равных значениях нормативного ресурса.

5.2. Конструкция стоек змеевиков оребренного экономайзера должна обеспечивать точную ранжировку труб в поперечных рядах и змеевиках, особенно в коридорных пучках.

5.3. В I-х ступенях экономайзеров со спирально-ленточным оребрением рекомендуется применение подогнутых-с боков ребер высотой 15 мм.

5.4. Высоту прямых ребер для труб диаметром 32 и 42 мм рекомендуется делать не более 10 мм.

5.5. Минимальный поперечный шаг труб в шахматном пучке определяется при прямых ребрах диаметром оребрения, а при подогнутых ребрах - расстоянием между наружными поверхностями подогнутых ребер и конструкцией отсек змеевиков. Увеличение поперечного шага труб при прямых ребрах оправдано только при необходимости снижения скорости при заданных габаритах газотока.

Минимальный поперечный шаг оребренных труб в коридорных пучках определяется диаметром оребрений прямых ребер или расстоянием между наружными поверхностями подогнутых ребер и конструкцией стоек змеевиков.

5.6. В шахматных пучках оребренных труб не рекомендуется относительный продольный шаг менее 1,8.

5.7. В коридорных пучках оребренных труб в качестве оптимального рекомендуется относительный продольный шаг, равный 2,5.

5.8. Для уменьшения доли неоребренных участков змеевиков и упрощения устройств золозащиты рекомендуется использование оребренных гибов, изготавливаемых по технологии ЗиО.

Для уменьшения золового износа ребер гибов вплотную к ним необходимо устанавливать вертикальную стенку. Неоребренные участки контактных стыков следует защищать накладками-манжетами.

5.9. В качестве приоритетной рекомендуется золозащита из накладок-манжет. Вплотную к ним на гнибах необходимо устанавливать стенки.

5.10. Рекомендуется применение в качестве групповой золозащиты гнибов и прилегающих оголенных прямых участков труб дырчатых решеток с коэффициентом живого сечения 0,45-0,50.

В центральной части газохода решетки ставить на входе, выходе и посредине пучка. У боковых стенок газохода решетки устанавливать после первых двух продольных рядов в шахматном пучке, и в коридорном - после первого ряда, перед последними двумя рядами в шахматном пучке и перед последним рядом в коридорном пучке, а также посредине каждого из пучков.

5.11. Для исключения повышенного золосного износа крайних змеевиков просвет между ребрами и стенками делать минимальным. В качестве кардинального решения рекомендуется навешивание на крайние змеевики металлических листов.

5.12. Конструкция пакетов змеевиков должна допускать разборку оребренного экономайзера без повреждений для повторного использования змеевиков путем поворота их на  $180^{\circ}$ .

Перечень нормативно-технических документов, на которые имеются ссылки в РД "Методические указания по оптимизации конструкций оребренных экономайзеров и их золозащитных устройств"

Обозначения НТД	Наименование НТД	Пункт, в котором имеется ссылка	Организация - разработчик НТД
	Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод), изд. 2-е, перераб. - М.: Энергия, 1973	2	ЦКТИ, ВТИ
ОСТ 108.031.08-85	Котлы стационарные и трубопроводы пара и горячей воды.	4.3	Министерство энергетического машиностроения, ЦКТИ
ОСТ 108.031.09-85	Нормы расчета на прочность		