

8320 - -

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР ПО
АВТОМАТИЗАЦИИ И МАШИНОСТРОЕНИЮ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
КОТЛОТУРБИННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. И. И. ПОЛЗУНОВА

⊕ р $\frac{86}{144}$

В. К. МЕЛЬНИКОВ

УСЛОВИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКАХ СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ ТОРФА

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛЕНИНГРАД — 1962

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР ПО
АВТОМАТИЗАЦИИ И МАШИНОСТРОЕНИЮ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
КОТЛОТУРБИННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. И. И. ПОЛЗУНОВА

⊕ Р $\frac{86}{144}$

В. К. МЕЛЬНИКОВ

УСЛОВИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКАХ СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ ТОРФА

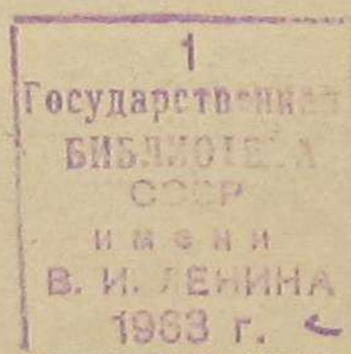
Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛЕНИНГРАД — 1962

СПРАВКА О ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация содержит 121 страницу машинописного текста, 69 рисунков, 11 таблиц, 12 приложений на 12 листах и список использованной литературы из 69 названий.

Работа выполнена в Институте энергетики Академии наук Латвийской ССР.



8320

ВВЕДЕНИЕ

В энергетике Советского Союза получили широкое распространение топочные устройства, основанные на слоевом сжигании топлива по методу ЦКТИ В. В. Померанцева. В малой энергетике этот метод впервые был применен Институтом энергетики АН Латвийской ССР, которым были созданы топки для сжигания кускового торфа как в натуральном виде, так и с предварительной его подсушкой теплом отходящих газов котла.

Несмотря на большое распространение скоростных топков в народном хозяйстве, топочные процессы в этих установках исследованы еще далеко недостаточно. Такой важный для практики вопрос, как лучистый теплообмен остается не изученным. Естественно, поэтому исходные данные единого метода теплового расчета топков паровых котлов, применительно к топкам скоростного горения для торфа, нуждаются в экспериментальной проверке и уточнении.

В диссертационной работе, на основе экспериментального изучения суммарного и локального теплообмена, тепловой эффективности экранных поверхностей и излучающей топочной среды, получены необходимые данные для расчета лучистого теплообмена в скоростных топках котлов малой мощности, работающих на торфе.

Выполнение экспериментальных исследований потребовало разработки ряда новых приборов и методов определения коэффициентов, применительно к условиям теплообмена в маломощных топках. Эти приборы позволяют расширить возможности исследования процессов теплообмена, протекающих в топочных камерах паровых котлов других конструкций.

Описание установок и методика измерений в опытах

Условия теплообмена изучались в трех скоростных топках, построенных к двухжаротрубным котлам на предприятиях г. Риги. Проектирование, строительство и наладка всех установок были проведены с участием автора настоящей работы.

В первых двух топках лучевоспринимающей поверхностью является трубная зажимающая решетка, выполняющая роль двусветного экрана, а в третьей — (помимо зажимающей решетки) задний и потолочные экраны, а также трубы фестона. Трубы зажимающей решетки в районе верхнего пережима шахты во всех установках покрыты плавниками. Основные характеристики топок приведены в таблице.

Установка	$V_{тп}$ (м ³)	$F_{стп}$ (м ²)	$H_{л}$ (м ²)	ψ'	\varnothing труб экрана	s (мм)	$\frac{s}{d}$
Топка без сушилки	4,14	22,3	3,56	0,17	83×3,5	180	2,17
Топка без сушилки	4,58	22,7	3,47	0,16	76×3,0	165	
Топка с сушилкой	15,2	54,1	13,5	0,27	76×3,0	165	

Во время опытов производительность топок изменялась от $1,3 \cdot 10^6$ до $2,7 \cdot 10^6$ ккал/час. Влажность топлива колебалась от 24,2 до 58%, а зольность (A^c) — от 2,3 до 19,5%. Видимое теплонапряжение топочного объема находилось в пределах $145 \cdot 10^3$ — $544 \cdot 10^3$ ккал/м³ час, а зеркала горения — $0,55 \cdot 10^6$ — $1,6 \cdot 10^6$ ккал/м² час. Паропроизводительность котлов изменялась от 1,1 до 2,9 т/час.

Условия работы экранов изучались во всех трех топочных устройствах с помощью двух двухсторонних термозондов с различными допустимыми пределами измерения тепловых потоков вблизи поверхностей нагрева, основанных на принципе термозонда А. И. Черногорова. Разработанные приборы позволяли измерять тепловые потоки в пределах от $7 \cdot 10^3$ до $60 \cdot 10^3$ ккал/м² час и от $40 \cdot 10^3$ до $400 \cdot 10^3$ ккал/м² час. Кроме этого, для измерения розеток падающих тепловых потоков отдельных труб экранов был создан четырехсторонний термозонд. Следует отметить, что известные термозонды из-за конденсации водяных паров на наружной поверхности теплоприемников и недостаточной точности измерения слабых тепловых потоков не могли быть использованы в маломощных топках.

Результаты исследования термозонда и водяного калориметра в модели черного тела позволили уточнить существующие методы определения лучистых тепловых потоков по показаниям термозондов. Аналитический метод, базирующийся на расчете теплового потока путем теплопроводности, дает заниженные значения падающих на теплоприемник лучистых потоков в среднем на 5,7%, а метод тарировки по водяному калориметру — на 8,4%.

Составленные уравнения для общего случая теплопередачи

через плоскую стенку при отсутствии теплопотерь по высоте теплоприемника позволили получить формулу для расчета падающего на стенку лучистого потока ($q_{пад}$) следующего вида:

$$q_{пад} = \frac{1}{\epsilon_w} \left\{ \Delta t \left[\frac{\lambda}{\delta_1} \left(1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right) + \alpha_1 \frac{\delta_2}{\delta_1} \right] - \alpha_1 (t_{f,1} - t_{f,2}) \right\} + \sigma_0 T_{w,1}^4, \quad (1)$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи топочных газов и проточной воды;

$t_{f,1}$, $T_{w,1}$, и $t_{f,2}$ — температура топочных газов, наружной поверхности теплоприемника и проточной воды;

ϵ_w — степень черноты наружной поверхности теплоприемника;

δ_1 и δ_2 — расстояние между спаями термопары и полная высота теплоприемника;

Δt — разность температур в теплоприемнике на высоте δ_1 ;

λ — коэффициент теплопроводности материала теплоприемника.

За исходную температуру для выбора λ принимали среднюю температуру $t_{ср}$ на высоте δ_2 теплоприемника, которая определялась выражением вида:

$$t_{ср} = \frac{\lambda \Delta t}{\delta_1} \left(\frac{\delta_2}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + t_{f,2}, \quad (2)$$

а $T_{w,1}$ по зависимости:

$$T_{w,1} = \left[\Delta t \left(\frac{\delta_2}{\delta_1} + \frac{\lambda}{\delta_1 \alpha_2} \right) + t_{f,2} \right] + 273. \quad (3)$$

Температура $t_{f,2}$ измерялась отдельной термопарой, установленной в корпусе термозонда. Коэффициент теплопередачи α_1 рассчитывался по известным зависимостям при средней температуре и скорости топочных газов, а α_2 принимался в зависимости от скорости воды в термозонде по данным, полученным в настоящей работе.

Влияние запыленности на степень черноты трехатомных газов топочной среды характеризовалось сопоставлением интегрального коэффициента ослабления лучей k_0 , полученного экспериментальным путем, с данными Хотеля и Эгберта. Для определения k_0 разработана новая методика, основанная на решении уравнения переноса энергии в неизотермической поглощающей среде при линейном изменении температуры.

В этом случае k_0 при $T_0 = 273^\circ \text{ К}$ определяется по формуле:

$$k_0 = \frac{\Delta T}{T_0^4} \cdot \frac{\lg \frac{Q - Q^1}{Q_0}}{\lg \frac{T_2}{T_1}} \quad (4)$$

где Q_0 — излучение топочного объема при прососе через тубус радиометра чистого воздуха за счет разрежения в топке;

Q — излучение топочного объема, ослабленное газовой средой, отсасываемой через тубус из топки;

Q^1 — излучение заключенной в тубусе топочной среды при отсосе ее из топки с холодным экраном перед открытым концом тубуса;

T_1 — абсолютная температура газа на входе в открытый конец тубуса;

T_2 — абсолютная температура газа на выходе из тубуса;

$\Delta T = T_1 - T_2$;

l — толщина заключенного в тубусе радиометра газового слоя.

Для экспериментального определения k_0 по формуле (4) был создан отсосный радиометр полного излучения. Основными узлами радиометра являлись: тубус для отсоса топочной среды с охлаждаемым поворотным экраном, радиометр нормального излучения, переключатели газа и термопар и отсосное устройство.

Радиометр градуировался по модели черного тела. Чувствительность прибора $11,7 \cdot 10^3$ ккал/м² час мв, а инструментальная погрешность — 10—12%.

Отбор летучей золы из топочного объема для установления фракционного состава производился мультициклоном. Содержание водяных паров в топочных газах определялось прибором, основанным на весовом методе.

Суммарный теплообмен в топках оценивался по их тепловому балансу, составленному по результатам измерения температуры газов перед жаровыми трубами котла компенсационным пирометром с передвижной термопарой, предложенным Б. Д. Кацнельсоном и В. В. Померанцевым, а также по результатам суммирования усредненных значений падающих и обратных тепловых потоков отдельных участков экрана, полученных с помощью двухсторонних термозондов. Кроме этого, во второй установке была сделана попытка оценить суммарное

теповосприятие экрана расчетным путем по розеткам падающих тепловых потоков отдельных труб, полученных четырехсторонним термозондом, а также по толщине и теплопроводности натрубных отложений.

В работе приведены подробные схемы и описания топочных устройств и приборов, а также результаты исследования приборов в лабораторных условиях.

Тепловые потоки вблизи экранов и натрубные отложения

Локальные измерения падающих и обратных тепловых потоков позволили получить картину их распределения вблизи поверхностей нагрева. Ввиду симметрии на графиках поля падающих тепловых потоков приведены только на одной половине зажимающей решетки.

В первых двух установках, по-видимому, из-за малого излучающего объема топочной камеры и ограниченной площади интенсивного горения топлива в слое, тепловые потоки претерпевают наиболее резкое изменение по высоте поверхностей нагрева. Здесь ядро поля падающих лучистых потоков на решетку со стороны топочной камеры располагается на высоте 800—1200 мм от уровня колосников и имеет при $D=1,23$ т/час $q_{\text{пад}} = 105 \cdot 10^3 \div 126 \cdot 10^3$ ккал/м² час, а при $D=2,13$ т/час — $186 \cdot 10^3$ ккал/м² час. Выше ядра $q_{\text{пад}} = 67,5 \cdot 10^3 \div 101 \cdot 10^3$ ккал/м² час, а ниже — $131 \cdot 10^3 \div 159 \cdot 10^3$ ккал/м² час.

В топке с сушилкой, где горение топлива происходит на большей площади, а верхняя часть топки облучается объемом и стенами развитой горловины, тепловые потоки по высоте экранов распределяются более равномерно. Здесь наибольшие значения тепловых потоков при $D=1,85$ т/час получены на высоте 340 мм ($102,6 \cdot 10^3$ ккал/м² час), а при $D=2,9$ т/час — на высоте 2500 мм ($141 \cdot 10^3$ ккал/м² час).

Поля падающих тепловых потоков горящего слоя топлива при различной паропроизводительности котлов показаны в диссертации на графиках. При малых нагрузках ядро падающих тепловых потоков $q'_{\text{пад}}$ располагается в районе верхнего пережима на расстоянии 300—1000 мм от боковой стены обмуровки. Здесь $q'_{\text{пад}} = 80 \cdot 10^3 \div 110 \cdot 10^3$ ккал/м² час. В районе нижнего пережима $q'_{\text{пад}}$ уменьшается до $20 \cdot 10^3 \div 70 \cdot 10^3$ ккал/м² час, а на высоте 1800 мм от колосников $q'_{\text{пад}} = 0$. При нормальной нагрузке ядро горения топлива прижимается к боковой стенке обмуровки. Здесь $q'_{\text{пад}}$ доходит до $285 \cdot 10^3$ ккал/м² час. По мере

удаления от обмуровки $q'_{\text{пад}}$ резко падает и в средней части решетки не превышает $60 \cdot 10^3 \div 70 \cdot 10^3$ ккал/м² час. По высоте решетки горением охвачена почти вся площадь шахты, а вдоль стен обмуровки горение наблюдается даже у топливного бункера.

Наибольшие значения обратных тепловых потоков настенных экранов топки с сушилкой при обеих нагрузках котла получены на потолочных участках экрана ($73,7 \cdot 10^3$ и $99,5 \cdot 10^3$ ккал/м² час), а наименьшие — на нижних ($38,8 \cdot 10^3$ и $46 \cdot 10^3$ ккал/м² час).

Для практического использования полученного экспериментального материала представляет интерес получить зависимость между падающим потоком на поверхность нагрева $Q_{\text{пад. т}}$ и температурой газов на выходе из топки $T''_{\text{т}}$. Сопоставление зависимости $Q_{\text{пад. т}}$ от $T''_{\text{т}}$, полученной путем усреднения локальных тепловых потоков, со значениями, полученными по формуле

$$Q_{\text{пад. т}} = \frac{B\varphi(Q_{\text{т}} - J'')}{\psi_{\text{э}} \cdot F_{\text{пл}}}, \quad (5)$$

иллюстрированы графиками. Результаты этого сравнения хорошо согласуются между собой.

Значения коэффициентов неравномерности распределения удельных тепловых потоков y , полученные по отношению $b_{\text{пад. уч.}}/Q_{\text{пад. т}}$ приведены в таблице и в приложении. В первых двух установках как со стороны горящего слоя топлива, так и со стороны топочной камеры y лежат в пределах 1,05—1,50. В верхних участках y падает до 0,13—0,3. В топке с сушилкой y находится в пределах 0,8—1,0 и только в районе горящего слоя топлива y увеличивается до 1,08—1,51.

Натрубные отложения изучались во второй и в третьей установках сразу же после исследований локального и суммарного теплообмена, то есть после 1400-часовой их работы. Весь опытный материал по исследованию натрубных отложений представлен на графиках и в приложении.

В первой установке лобовые и тыльные стороны средних труб на высоте 200 мм от уровня поверхности колосниковой решетки покрыты отложениями толщиной 0,6—0,7 мм, а крайних — 1,0—1,2 мм. На высоте 1900 мм поверхности обеих сторон средних труб покрыты отложениями толщиной 1,2—1,6 мм, а крайних — 1,7—2,0 мм.

В топке с сушилкой наименьшая толщина отложений (0,6 мм) обнаружена на лобовой поверхности средней трубы

заднего экрана на высоте 630 мм, а наибольшая (8 мм) — на трубах фестона; крайние трубы на этих же высотах покрыты слоем толщиной в 2,0 и 12 мм. Потолочные экраны занесены золой толщиной от 1,1 до 1,6 мм.

Характеризуя изменения отложений топки первой установки по ходу пламени средними арифметическими значениями толщины слоя, полученными из измерений на отдельных трубах по ширине экранов, можно видеть, что наиболее резкое увеличение толщины отложения как со стороны топочной камеры (1,8 мм), так и со стороны шахты (1,4 мм), наблюдается в верхней части решетки. Такое же явление, хотя менее выраженное, имеет место и на экране топки с сушилкой.

Зольность отложений также меняется по высоте экранов. В нижних участках поверхностей труб в первой установке отложения содержат $A^c = 53,2—55,6\%$, а в верхних участках труб, обращенных в сторону топочной камеры, — $A^c = 94,0\%$. Натрубные отложения верхних участков решетки со стороны шахты содержат $A^c = 20,4\%$. Подобная картина зольности отложений получена и на поверхности экрана установки с сушилкой.

Анализ выхода летучих веществ натрубных отложений с поверхностей труб зажимающей решетки показал, что их содержание находится в пределах от 40 до 43,4%.

В обеих установках поверхности труб решетки, особенно в районе верхнего пережима, покрыты плотным слоем с трудом снимаемого и совершенно нерастворимого в воде нагара с объемным весом $\gamma = 1050—1080$ кг/м³. Подобным нагаром покрыты трубы шахты верхнего пережима, но более пористым и легко снимаемым с поверхности труб в виде крупной чешуи ($\gamma = 980$ кг/см³). Верхние участки решетки стороны топочной камеры покрыты легко удаляемым в виде чешуи слоем золы желтого цвета с $\gamma = 1120$ кг/м³, моментально разрушающимся в воде.

Потолочные участки экрана топки с сушилкой занесены мелкой дисперсной золой, осыпающейся от малейшего прикосновения или легкого постукивания по трубам.

Из графиков зависимости теплопроводности от средней температуры слоя следует, что $\lambda_{\text{отл}}$ отложений на трубах решетки при $t_{\text{ср}} = 100^\circ\text{C}$ находится в пределах 0,11—0,12 ккал/м час⁰С. Только верхние механически менее прочные слои отложений решетки имеют $\lambda_{\text{отл}} = 0,09$ ккал/м час⁰С. Теплопроводность отложений увеличивается с ростом $t_{\text{ср}}$.

Тепловая характеристика экранных поверхностей

Отличительной особенностью экранных поверхностей скоростных топков является зажимающая решетка, где вместо обмуровки имеется подвижный слой горящего торфа.

Для этого случая степень черноты экранной поверхности при $a_{тр} = 0,82$ и $a_{обм} = 1$ можно выразить формулой:

$$a_{см} = 1 - 0,18\varphi(1 - 0,82\psi_{1т} - \psi_{1s}), \quad (6)$$

где φ , $\psi_{1т}$ и ψ_{1s} — угловые коэффициенты, полученные по методике А. С. Невского. Сопоставление значений $a_{см}$, полученных по методике А. С. Невского и В. В. Митора, показало, что их расхождения составляют не более 0,5% в интервале s/d — 1,02—1,5.

В. В. Митор и А. С. Невский в своих работах ограничивались рассмотрением ψ_0 только нестенных экранных поверхностей. Зажимающую решетку скоростных топков следует отнести к двусветному экрану, так как она облучается не только факелом топочной камеры, но и слоем горящего торфа. В этом случае лучи, проходящие между трубами от факела, поглощаются слоем топлива (степень черноты слоя топлива близка к единице), а от слоя рассеиваются в топочной камере.

Тепловую эффективность двусветного экрана можно выразить формулой:

$$\psi_0 = a_{тр}\varphi[1 - \psi_{1т}(1 - a_{тр})] \quad (7)$$

Значения ψ_0 , полученные по формуле (7), на 15—19% меньше значений тепловой эффективности экранов, приведенных в Нормах.

Измерения падающих и обратных тепловых потоков позволили получить тепловую эффективность загрязненных экранов ψ_s .

Во всех трех установках наибольшие значения ψ_s на всех участках по высоте экранов наблюдаются в районе средних труб, тогда как по мере приближения к обмуровке ψ_s падает. Такой характер изменения значения ψ_s по ширине экранов вызван неравномерностью распределения отложений на поверхностях отдельных труб.

Гладкотрубные участки экранов имеют наибольшие значения $\psi_{s,уч}$ в нижней части экранов. Например, на участке решетки до плавников $\psi_{s,уч}$ составляет 0,404—0,426, тогда как на участке выше плавников $\psi_{s,уч}$ находится в пределах 0,354—0,370.

Несмотря на относительно плотные плавники зажимающей решетки $\psi_{s,уч}$ этих участков не превышало 0,495, то есть значения тепловой эффективности плавниковых участков выше гладкотрубных всего на 16%.

В топке с сушилкой, как и в первых двух установках, наиболее резкое уменьшение тепловой эффективности наблюдается на верхних участках экрана. Если нижние участки экрана имеют $\psi_{s,уч} = 0,40$ —0,476, то потолочные участки — $\psi_{s,уч} = 0,321$ —0,332. Тепловая эффективность труб фестона, ввиду сильного заноса поверхностей труб летучей золой, не превышала 0,098.

Следует отметить, что установить какие-либо изменения тепловой эффективности экранов от нагрузки котлов не удалось.

Изменение коэффициентов загрязнения ($\zeta = \psi_s / \psi_0$) по ширине экранов во всех установках подобно изменению коэффициента тепловой эффективности, то есть наибольшие значения ζ располагаются в средней части экрана, а наименьшие — ближе к обмуровке.

В первых двух установках коэффициент загрязнения нижних участков $\zeta_{уч}$ решетки находится в пределах 0,806—0,824, а верхних — 0,683—0,740. В топке с сушилкой значения коэффициентов загрязнения на вертикальных участках экрана очень близки к значениям первых двух установок. Резкое падение значений коэффициентов наблюдается на верхних участках экрана. Здесь $\zeta_{уч}$ потолочных экранов падает до 0,444, а фестона — до 0,206. Такое расхождение значений $\zeta_{уч}$ объясняется, главным образом, уменьшением теплопроводности натрубных отложений по ходу пламени.

Полученные усредненные значения коэффициентов по площадям участков экранов показали, что в первых двух установках $\zeta = 0,78$, а в топке с сушилкой — 0,43, то есть в первых двух установках ζ больше значений, приведенных в Нормах на 11,4%, а в топке с сушилкой меньше — на 38,6%.

Топочная среда

Золовой баланс первых двух установок показал, что из зажимающей решетки выносятся от 48,5 до 64,4% золы. Из этого количества от 9,3 до 16,1% золы осаждаются на дожигательной решетке, а остальная выносятся из топки.

В топке с сушилкой, из-за более развитой поверхности зер-

кала горения по сравнению с первыми двумя установками, вынос золы из топки находился в пределах $27,4 \div 52,6\%$.

Из кривых фракционного состава летучей золы следует, что топочные газы в первых двух установках содержат крупную золу со средним диаметром частиц в пределах $121,1 \div 143$ мкн.

На большой унос крупной золы из топок исследуемых установок по сравнению с механическими, полумеханическими и ручными топками для каменноугольного топлива влияют, по-видимому, два фактора: во-первых, вертикальное расположение слоя топлива и горение его по всей высоте зажимающей решетки и, во-вторых, легкость золы, так как удельный вес летучей золы не превышает $1,52 \text{ г/см}^3$.

Концентрация золы в газах, полученная из золowego баланса, в первых двух установках колебалась в пределах $1,56 \div 5,76 \text{ г/нм}^3$, а в топочной камере установки с сушилкой — $4,6 \div 13,7 \text{ г/нм}^3$.

Помимо изучения летучей золы проводились также измерения коэффициента ослабления топочной среды с помощью отсосного радиометра.

Результаты сопоставления данных Хотеля и Эгберта с нашими опытными значениями показывают, что около 70% точек имеют отклонение $\pm 4\%$. Отклонение отдельных точек находится в пределах $+23,6$ и $-30,2\%$. Такой большой разброс отдельных точек вызван флуктуациями температуры топочной среды.

Из полученных результатов исследования основных характеристик летучей золы, а также сопоставления коэффициентов ослабления лучей топочной среды следует, что для практических расчетов степени черноты факела a_f в топках скоростного горения для торфа следует принимать только трехатомные газы.

Результаты исследования суммарной теплоотдачи в топках

Тепловые балансы и измерения температуры газов на выходе из топок дали возможность сопоставить исходные данные нормативного метода и данные, полученные в настоящей работе, для расчета суммарной теплоотдачи топок. Весь опытный материал представлен на графиках и в приложении.

Из анализа геометрических характеристик можно видеть, что в первых двух установках на расчет суммарной теплоотдачи сильно влияет площадь зеркала горения топлива в шахте R .

Например, при R , равной полной площади торфа в шахте, и коэффициенте загрязнения экранных поверхностей по Нормам ($\zeta = 0,7$) расчетные температуры газов, покидающих топку, получаются ниже опытных в среднем на $7,3\%$ ($46 \div 104^\circ\text{C}$), а при R , равной площади торфа по высоте до пережима, — на $3,1\%$ ($17 \div 50^\circ\text{C}$). Вследствие заниженных расчетных температур ϑ''_m суммарная теплоотдача Q'_m получается выше фактической в среднем соответственно на $37,5\%$ и 15% .

Таким образом, сопоставления расчетных и опытных значений ϑ''_m и Q'_m показали, что рекомендуемые Нормами значения R не отражают условий теплообмена в исследуемых установках, тогда как значения ζ , как было показано выше, мало отличаются от значений ζ , рекомендуемых Нормами.

Известно, что при выводе степени черноты слоевых топок (a_m) излучение горящего слоя топлива приравнивается к излучению черного тела с температурой равной средней температуре факела (T_{cp}). Принимая $T_{cp} = \frac{T_a + T''_m}{2}$, можно определить высоту зеркала горения h выражением:

$$h = \frac{q'_{\text{пад. ср}} \cdot F_{\text{сл}}}{\sigma_0 \left(\frac{T_{cp}}{100} \right)^4 b} \quad (8)$$

где $q'_{\text{пад. ср}}$ — удельное излучение горящего слоя топлива;
 $F_{\text{сл}}$ — полная поверхность излучающего слоя;
 b — ширина шахты топки;
 σ_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Такой грубый прием выбора T_{cp} факела оправдывается тем, что он позволяет обосновать величину R из фактических условий теплообмена в исследуемых установках и оценить a_m скоростных топок по известной формуле нормативного метода.

Расчетом установлено, что независимо от нагрузки котлов $h = 0,64$ м. Значение опытного коэффициента ζ для первых двух установок равно $0,78$.

Из сопоставления расчетных температур ϑ''_m , полученных при $h = 0,64$ и $\zeta = 0,78$, с опытными следует, что среднее расхождение их значений не превышает $1,1\%$ с разбросом отдельных точек, равным $+0,4$ и $-2,4\%$, а расчетные значения Q'_m не превышают опытных значений в среднем на $5,5\%$ с разбросом отдельных точек, равным $-0,4$ и $+10,5\%$.

Полученные значения суммарной теплоотдачи подтверждаются результатами определения общего тепловосприятия экра-

нов по падающим и обратным тепловым потокам. Среднее отклонение общего тепловосприятия, полученного с помощью двухстороннего и четырехстороннего термозондов, от значений Q'_m полученных по опытным температурам ϑ''_m , составило 1,2%.

Хорошее совпадение опытных данных получено и с результатами расчета безразмерной температуры на выходе из топки Θ''_m в зависимости от критерия Больцмана. Здесь опытные значения Θ''_m не превышали расчетных при $h=0,64$ м и $\zeta=0,78$, в среднем более, чем на 0,8%.

В топке с сушилкой геометрические характеристики практически мало зависят от выбора величины R , так как облучаемая горящим слоем топлива поверхность нагрева зажимающей решетки мала по сравнению с общей поверхностью экрана. Поэтому здесь величину R следует принимать по рекомендациям Норм, то есть по высоте до верхнего пережима.

Из графиков следует, что значения температуры ϑ''_m , полученные расчетом по исходным данным Норм ниже измеренных ϑ''_m в среднем на 8,4%, а расчетные значения суммарной теплоотдачи — выше в среднем на 22,8%.

Усреднением локальных коэффициентов загрязнения по площадям отдельных участков, как уже отмечалось, получен $\zeta=0,43$.

Окончательные результаты расчета ϑ''_m и Q'_m показали, что расчетные температуры превышают измеренные в среднем на 1,2% при разбросе отдельных точек от +3,2 и -1,9%, а расчетная суммарная теплоотдача ниже значений Q'_m , полученных по измеренным температурам, в среднем на 2,9% с разбросом отдельных точек -7,4 и +6,4%.

Хорошая согласованность опытных данных Q'_m получена и с результатами определения общего тепловосприятия экрана по падающим и обратным тепловым потокам. Здесь среднее отклонение значений не превышало 0,4% данных Q'_m , найденных по измеренным температурам.

Из графика зависимости Θ''_m от критерия Больцмана следует, что расчетные значения Θ''_m превышают опытные значения Θ''_m в среднем на 0,9%, при этом разброс отдельных точек находится в пределах +3,0 и -1,5%.

Таким образом, на основе сопоставления расчетных и опытных значений ϑ''_m , Q'_m , и $\Theta''_m = f(Bo)$ можно утверждать, что полученные в настоящей работе значения исходных данных для расчета суммарной теплоотдачи исследуемых установок могут быть рекомендованы для практического использования.

Верхний предел температуры ϑ''_m ограничивается условия-

ми шлакования стен обмуровки на выходе из топок и, как было установлено непосредственно на работающих установках не должен превышать 1100°C.

ВЫВОДЫ

1. Использование данных существующих Норм теплового расчета котельных агрегатов применительно к топкам котлов малой мощности для торфа приводит к занижению расчетной температуры газов, покидающих топочную камеру.

2. Экспериментальное изучение локальных лучистых потоков, имеющих место вблизи поверхностей нагрева в топках котлов, позволило выявить действительную тепловую эффективность экранных поверхностей. Ее значения при одинаковом относительном шаге труб уменьшаются по ходу пламени и существенно отличаются от данных Норм расчета только для верхних участков экранов. Значения тепловой эффективности плавниковых экранов выше гладкотрубных на 16%.

3. Низкая тепловая эффективность экранных поверхностей вызвана загрязнением экранов летучей золой, а ее изменение по ходу пламени — количественной и качественной неравномерностью распределения отложений по высоте экранов. Толщина отложений на отдельных трубах изменяется от 0,6 до 12 мм, а коэффициент теплопроводности при 100°C — от 0,9 до 1,2 ккал/м час°C.

4. Экспериментальное исследование излучения топочной среды показало, что несмотря на большой вынос летучей золы с топочными газами из слоя топлива (около 60% от общего золывого баланса), ее присутствие в топочной среде не влияет на степень черноты трехатомных газов.

5. Полученные результаты экспериментального изучения условий теплообмена, имеющих место в топках паровых котлов, могут быть рекомендованы для пополнения существующих Норм теплового расчета, применительно к топкам скоростного горения котлов малой мощности для торфа.

6. Разработанные приборы для измерения лучистых тепловых потоков, а также предложенный метод экспериментального определения интегрального коэффициента ослабления лучей топочной среды, позволяют расширить возможности исследований процессов теплообмена в камерах сгорания топок паровых котлов других конструкций.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих статьях:

1. В. К. Мельников. Тепловая эффективность экранных поверхностей нагрева выносной топки котла малой мощности. Известия АН ЛССР, № 3 (140), 1959.

2. Х. А. Мангулис, В. К. Мельников, М. В. Кражовский. Топка скоростного горения с каскадной сушилкой для торфа к котлу малой мощности. Наука — производству (выпуск второй). Издательство АН Латв. ССР, 1957.

3. В. К. Мельников, Э. Я. Блум. Метод экспериментального определения интегрального коэффициента ослабления лучей топочной среды. ИФЖ, № 8, 1962.

4. В. К. Мельников. Конструкция термозондов для маломощных топок. «Энергетика» № 3. Сборник технической информации, Рига, 1962.

5. В. К. Мельников. Суммарный теплообмен в топках скоростного горения для торфа. Известия АН Латв. ССР, № 9, 1962.