

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

НОРКИН Н. Н.

В связи с вопросами, выдвигаемыми научными работниками Московского института инженеров коммунального строительства И. Ф. Ливчаком и С. Н. Шориным (Повышение экономичности отопительных печей, журнал „За эконом. топл.“ № 4, 1946 г.), является целесообразным осветить результаты детального обследования отопительной печи большой теплоемкости с рециркуляцией части продуктов горения. В лаборатории кафедры аппаратуры Томского политехнического института по заданию управления Томской железной дороги была построена опытная печь системы мастера-печника Г. И. Будакова, являющаяся модификацией печи Всесоюзного теплотехнического института (автор Ковалевский). В виду того, что эта обследованная нами печь предназначалась для массового распространения, управление Томской дороги сочло необходимым провести детальное теплотехническое обследование; с этой целью в лаборатории кафедры аппаратуры была построена опытная печь, краткие результаты обследования каковой публикуются ниже.

В работе по обследованию принимали участие студенты V курса: Л. Корчинский, В. Бирюков и А. Пашин.

I. Метод измерений

Обследованная отопительная печь представляет канально-камерную печь с частичной рециркуляцией продуктов горения в топку и с нижним обогревом (см. рис.). Путь движения газов в печи следующий: продукты горения по жаровой камере поднимаются вверх до свода топливника и затем через верхнее выходное отверстие поступают в заднюю камеру (камера дожигания). В камере дожигания газы опускаются вниз. На своем пути вниз часть газов возвращается в топку (рециркуляция), наибольшее же количество их разделяется внизу на 2 потока, которые поступают в боковые обогревательные каналы. В боковых обогревательных каналах газы поднимаются вверх и оба потока соединяются затем в верхней дымовой камере, откуда и отводятся в дымовую трубу. Печь была построена в помещении емкостью около 400 м³, температура в помещении во время испытания была приблизительно 10—11°С. Во время опытов производились измерения: а) температуры наружных поверхностей печи по трем поясам; число точек 12, температура измерялась ртутными термометрами; б) температура внутри печи: у низа жаровой камеры платино-платино-родиевой термопарой, у верха жаровой камеры—графитовым термометром, в камере дожигания, в боковых обогревательных каналах, в верхней дымовой камере—никель-никель-хромовыми термопарами; перед дымовой трубой—железokonстантановой термопарой. Места расположения точек для установки приборов для измерения температуры показаны на рисунке.

Разрез I-I

Разрез II-II

Разрез III-III

Рис. №1 Общий вид и разрезы отопительной печи. Расположение контрольно-измерительных приборов

Точки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 — ртутные термометры для измерения температур наружных поверхностей печи

Точки A, B, C, D, E, F — термопары для измерения температур внутри печи.

Точки I, II, III, IV, V — точки забора проб газа для анализа

Топливом служил Анжерский каменный уголь; технический анализ его: $W=1,67\%$; v^a (летучие)— $11,5\%$ и A^p (зола)— $9,6\%$. Элементарный состав

угля в пересчете на рабочее топливо: $C^p=80,9\%$; $H^p=3,82\%$; $N^p=1,63\%$, $O^p=1,95\%$; $S^p=0,45\%$; $W^p=1,67\%$ и $A^p=9,58\%$. Теплотворная способность каменного угля $O_{H^p}=7580$ ккал/кг.

II. Материальный и тепловой балансы горения. Напряженность горения

В результате 3-кратных испытаний установлены следующие материальный и тепловой балансы горения:

А. Материальный баланс

Поступило. 1. Щепы . . . 2,5 кг.	Получено. 1. Продуктов горения 209,5 кг.
2. Каменного угля 16 кг.	2. Несгоревшего кокса 2,485 кг.
3. Воздуха . 196 кг.	3. Золы и шлака . . . 2,232 кг.
Итого 214,5 кг.	214,217 кг

Б. Тепловой баланс

Получено. 1. Тепло горения щепы	8250 ккал
2. Тепло горения каменного угля 121200 — „ —	— „ —
	129450 ккал

Отдано тепла. 1. Потери тепла с уходящими газами при температуре их 130°C	6530 ккал или $5,05\%$
2. Потери от химической неполноты горения	8060 ккал $6,23\%$
3. Потери в коксе	17900 — „ — $13,82\%$
4. Потери в шлаке и золе	3350 — „ — $2,58\%$
5. Тепло аккумулированное печью (по разности)	93610 — „ — $72,32\%$
	129450 — „ — или 100%

Считая тепло, аккумулированное печью, полезно использованным и тепло несгоревшего кокса потерянными, коэффициент полезного действия печи выражается величиной $73,32\%$. Однако часть несгоревшего кокса может быть использована при последующей растопке печи, тем более, что кокс получается крупно-кусковой, вследствие чего коэффициент полезного действия повышается. Из тепла, не используемого в печи, большая доля приходится на потерю от химической неполноты горения, что обусловлено значительным содержанием СО в отходящих газах; при составлении теплового баланса взят средний состав отходящих газов: $\text{CO}_2=13,3\%$; $\text{O}_2=4,0\%$ и $\text{CO}=1,8\%$ и коэффициент избытка воздуха $\alpha=1,37$.

Основные размеры топливника $27\text{ см} \times 41\text{ см} \times 165\text{ см}$. Объем топливника (вместе с жаровой камерой) $0,182\text{ м}^3$. Колосниковая решетка $0,27 \cdot 0,29=0,0783\text{ м}^2$. Напряженность колосниковой решетки при расходе каменного угля 16 кг и длительности топки $2\text{ ч. } 50\text{ м.}$ составила $62 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{час}}$

Тепловая напряженность объема топливника с жаровой камерой $250.000 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3\text{час}}$

Следует отметить, что при сокращении продолжительности топки до $1\text{ часа } 40\text{ мин.}$ (вместо $2\text{ ч. } 50\text{ мин.}$) при той же загрузке топлива остаток несгоревшего кокса составил $3,78\text{ кг}$ (вместо $2,485\text{ кг}$), вследствие чего потери тепла в коксе 21% (вместо $13,82\%$), коэффициент полезного действия печи вследствие этого снизился до $63,2\%$ вместо $73,32\%$.

III. Анализ продуктов горения, распределение температуры в печи и разрежение

В период топки печи (первые 2,5—3 часа) анализ газов, производившийся через 30 мин., показал следующие результаты, средние данные которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Анализ газов в период топки печи

Название	Верх. жаровой камеры № 1	Камера дожигания № 2	Правый боковой канал № 3	Левый боковой канал № 4	Выход в дымовую трубу № 5
CO ₂	10.09	12.30	9.75	9.50	11.20
O ₂	4.74	2.90	3.20	3.4	5.00
CO	4.0	4.40	3.70	3.8	1.8

Таблица 2. Анализ газов по истечении 7 часов после прекращения топки

Название	Верх жаровой камеры № 1	Камера дожигания № 2	Правый боковой канал № 3	Левый боковой канал № 4	Выход в дымовую трубу
CO ₂	0.8	0.2	0.2	0.3	0.2
O ₂	2.0	1.16	8.0	8.5	19.3
CO	9.2	4.7	4.7	4.6	0.1

Температура внутри печи в период топки распределяется следующим образом.

1. Над слоем топлива 1000°C
2. Внизу жаровой камеры 725°C
3. Вверху жаровой камеры 456°C
4. В камере дожигания 392°C
5. Температура у входа в дымовую трубу 130°C

Разрежение в печи по результатам замеров

1. Зольник 3,74 мм в. с.
2. Жаровая камера (топливник) . 1,27 мм в. с.
3. Камера дожигания 2,76 мм в. с.
4. Боковые каналы 2,25 мм в. с.
5. У входа в дымовую трубу . . 1.95 мм в. с.

По результатам измерения температуры и разрежений дополнительно рассчитано: общее сопротивление печи 5,82 мм в. с., собственный гидростатический потенциал 2,1261 мм в. с., следовательно, остальное сопротивление в 3,6939 мм в. с. покрывается разрежением, создаваемым дымовой трубой.

IV. Температура и теплоотдача наружных поверхностей стен печи

Для обследованной печи в период испытания был установлен суточный режим, то-есть отопление печи производилось через сутки. В течение суток через каждый час производились замеры температуры по 3 поясам в каждой из 4 поверхностей печи. В таблице 3 приведены результаты измерений.

Таблица 3. Измерение температуры наружных поверхностей печи

Время	Т-ра возд. в помеще- нии	Передняя стенка °С	Задняя стенка °С	Боковые стенки °С	
6—00	12.38	40.0	46.2	35.8	
7—00	12.55	43.25	47.0	41.4	
8—00	12.88	44.5	48.4	42.0	
9—00	12.90	48.75	59.0	46.0	
10—00	12.90	48.6	66.5	50.3	
11—00	12.8	52.0	77.7	55.0	
12—00	12.80	55.5	80.7	57.6	
1—00	12.8	58.15	82.7	60.00	
2—00	12.8	60.50	83.0	61.4	
3—00	12.8	61.35	82.00	62.0	
4—00	12.8	62.00	80.07	62.30	
5—00	12.90	62.05	78.5	61.70	
6—00	12.8	61.75	75.8	61.5	
7—00	12.50	60.75	74.3	60.0	
8—00	12.45	60.1	71.0	58.5	
9—00	12.50	58.15	67.8	55.5	
10—00	12.45	56.85	65.5	55.4	
11—00	11.70	54.75	63.2	53.3	
12—00	12.50	53.3	61.0	51.8	
1—00	12.5	52.25	59.4	50.7	
2—00	12.5	50.4	56.5	48.7	
3—00	12.5	48.7	54.75	47.4	
4—00	12.5	47.35	52.8	45.8	
5—00	12.5	45.9	51.1	44.5	
6—00	12.5	44.4	49.2	43.0	
среднее	12.6	53.0	65.5	52.5	

Примечание: 1) температура воздуха в отапливаемом помещении замерялась в 4 точках на разных расстояниях от печи; 2) средняя температура по стенкам определялась как среднее арифметическое из температур в 3 поясах.

Анализируя табличные данные, устанавливаем, что наибольший прогресс у задней стены печи (внешняя поверхность заднего дымооборота), именно средняя температура поверхности задней стены 65,5°С, причем максимальное значение температуры достигает 83°С спустя 6 часов после прекращения топки. Передняя стена (внешняя поверхность топливника) нагревается в среднем до 53°С, причем максимальная температура 62°С спустя 8 часов после прекращения топки. Боковые стены (наружные поверхности последних боковых дымооборотов) нагреваются в среднем до 52,5°С, причем максимальная температура 62,3°С спустя 7 часов после прекращения топки.

При регулярном суточном режиме печи, вследствие установившегося теплового потока, общее количество тепла, отдаваемого печью в помещение, равно (из теплового баланса) 93610 ккал. Наружная теплоотдающая поверхность стен печи 11,3 м²; тогда величина теплового потока по тепловому балансу выразится:

$$\frac{93610}{11,3 \cdot 24} = 346 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час}}$$

Приведенные в таблице 3 данные температурных измерений позволили вычислить величины тепловых потоков за все время суточного режима.

Не приводя здесь табличных данных всех тепловых расчетов, укажем лишь на минимальные и максимальные величины.

В начале растопки печи и в конце остывания (первые и последние часы суточного режима) теплоотдача является минимальной и составляет величину:

для передней стенки Q	минимум	266	ккал м ² час
„ задней стенки	„	338	„
„ боковых стенок	„	273	„

Максимальная теплоотдача имеет место спустя 9 часов после растопки для задней стенки, спустя 11 часов—для передней стенки и спустя 10 час. для боковых стенок и характеризуется следующими величинами:

для передней стенки Q максимум	577	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2\text{час.}}$
для задней " "	845	"
для боковых стенок " "	660	"

Рассчитаны также коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением для каждого часа суточного режима.

В таблице 4-ой приведены минимальные, максимальные и средние значения коэффициентов теплоотдачи.

Таблица 4

Коэффициенты теплоотдачи от наружной поверхности стен печи

Название	Передная стенка	Задняя стенка	Боковые стенки
Коэффициент теплоотдачи конвекцией			
$\alpha \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час град}} \left\{ \begin{array}{l} \text{минимум} \\ \text{максимум} \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} 5.05 \\ 5.82 \end{array}$	$\begin{array}{l} 5.30 \\ 6.37 \end{array}$	$\begin{array}{l} 4.34 \\ 5.35 \end{array}$
$\left\{ \begin{array}{l} \text{среднее из} \\ \text{24 определ.} \end{array} \right.$	5.58	5.98	5.10
Коэффициент теплоотдачи излучением			
$\tilde{\alpha}_l \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час град}} \left\{ \begin{array}{l} \text{минимум} \\ \text{максимум} \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} 4.60 \\ 5.46 \end{array}$	$\begin{array}{l} 4.70 \\ 5.70 \end{array}$	$\begin{array}{l} 4.34 \\ 5.45 \end{array}$
$\left\{ \begin{array}{l} \text{среднее из} \\ \text{24 определ.} \end{array} \right.$	5.00	5.07	4.93

Выводы

Выполненное обследование позволило установить:

1. Конструктивные особенности печи, как-то нижний обогрев, частичная рециркуляция, обеспечивают хорошие показатели работы печи: сравнительно небольшая величина химической неполноты горения, низкая температура уходящих газов, сравнительно высокий коэффициент полезного действия печи.
2. Наблюдения во время обследования печи показали: а) сжигание каменного угля может быть проведено при количестве воздуха, соответствующем коэффициенту избытка, не превышающему 1,4; б) всякий раз открывание топочной дверки для загрузки новой порции угля влечет за собою снижение температуры в топливнике на 200—250° С, однако, с этим приходится мириться в первое время после растопки; последнюю

разовую загрузку можно допустить в количестве 7—8 кг. Увеличение веса последней разовой загрузки влечет за собою увеличение химической неполноты горения.

3. Измерения и выполненные на основе их расчеты выявили: а) оптимальное время топки печи, влияющее на остаток кокса; б) время прогрева и остывания печи; в) оптимальные величины весового и теплового напряжения горения; г) величины тепловых потоков; д) расчетные коэффициенты теплоотдачи.
