

EN 15544

Печи теплоаккумулирующие стационарные кафельные и оштукатуренные (интерпретация)

Рудольф Хазельбёк



Обзор



- Почему EN 15544
- Область применения
- Что рассчитывается?
- Расчёт кафельной печи
 - Геометрия топки
 - Длина каналов
 - Продукты сгорания и температура дымовых газов
 - Аэродинамический расчёт



Почему следует рассчитывать кафельную печь по EN 15544?

- В течении сотен лет строились кафельные печи, которые хорошо функционировали и без расчёта.
- Однако, в последние годы из-за экологических проблем слово «функционирование» получило более глубокий смысл.
- Таким образом, сегодня хорошей печью считают не только ту, которая «хорошо отводит дымовые газы и не дымит в жилое помещение», но и прибор, способный при низких выбросах вредных веществ, обеспечить минимальный требуемый КПД.
- В большинстве европейских стран минимальный КПД и предельные значения выбросов определяются на законодательном уровне.



Область применения EN 15544

- Определение размеров – расчёт кафельных / оштукатуренных печей индивидуального изготовления.
- Специально для следующих типов топлива: поленья и древесные брикеты
- Однократная закладка топлива в течении периода аккумуляции тепла
- Максимальный объем топлива между 10 кг и 40 кг
- Период аккумуляции (номинальное время нагрева) 8 - 24 ч



Область применения EN 15544

- Используемый материал – печной шамот - с плотностью между 1750 и 2200 кг/м³, открытой пористостью от 18 до 33 % объема, теплопроводностью в области температур от 20 до 400°С между 0,65 и 0,90 Вт/мК.
- Размер стекла составляет 1/6 от площади внутренней поверхности топки



Область применения EN 15544

• При проведении расчёта по этим нормам должны быть соблюдены условия:

- Минимальное значение КПД 78%
- Минимальное значение выбросов

CO (окись углерода) 1.500 мг/мн³ (1.000 мг/мДж)

NO_x (диоксид азота) 225 мг/мн³ (150 мг/мДж)

OGC (органически связанный углерод) 120 мг/мн³ (80 мг/мДж)

твердые частицы - 90 мг/мн³ (60 мг/мДж)

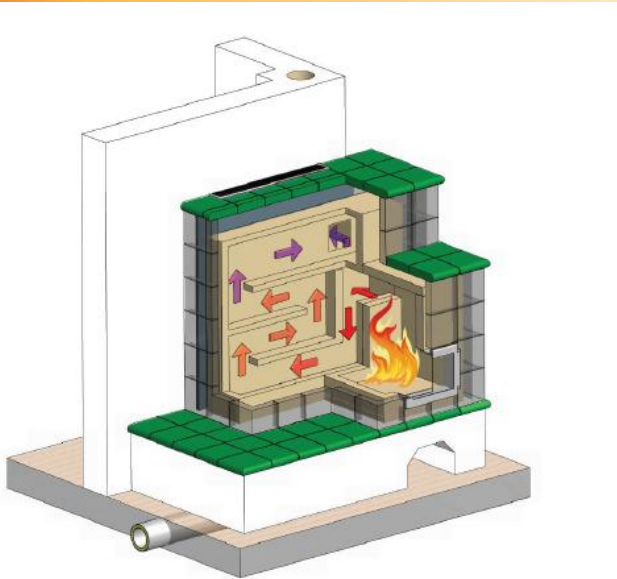


Область применения EN 15544

- Этот метод расчёта и определения размеров кафельных и оштукатуренных печей основан на разработанном Австрийским Союзом Печников методе расчёта, а также на:
- EN 13384-1 – „Дымоходные системы. Расчёт конструкций для удаления дымовых газов“



Что рассчитывается?



- Ранее мощность кафельной печи определялась размером внешней поверхности (например: 900 Вт/м^2).
- Данное определение мощности, однако, верно лишь отчасти.
- Для правильного определения мощности печи, необходимо учесть кол-во дров в топке, номинальное время нагрева и только потом рассчитывать печь
- В зависимости от требуемых значений

тепловой мощности и времени между закладками, рассчитываются следующие параметры:

- Количество дров в одной закладке
- Размеры топки (В/Ш/Г), минимальная длина каналов
- Конструкции из шамота – толщина стен
- Сечение каналов в соответствии с сечением дымовой трубы



Расчёт кафельной печи:

- **Определение номинальной тепловой мощности печи:**
 - по оценочным критериям
 - в результате расчёта тепловой нагрузки
- **Расчёт минимального и максимального количества топлива:**
 - В зависимости от номинальной тепловой мощности и времени между закладками

$$m_B = \frac{P_n \cdot t_n}{3,25}$$

$$m_{Bmin} = 0,5 \cdot m_B$$

m_B максимальное количество топлива в кг

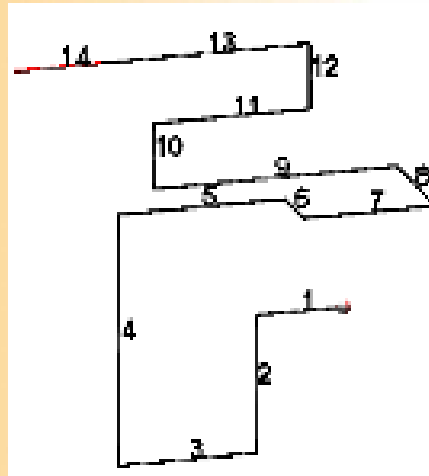
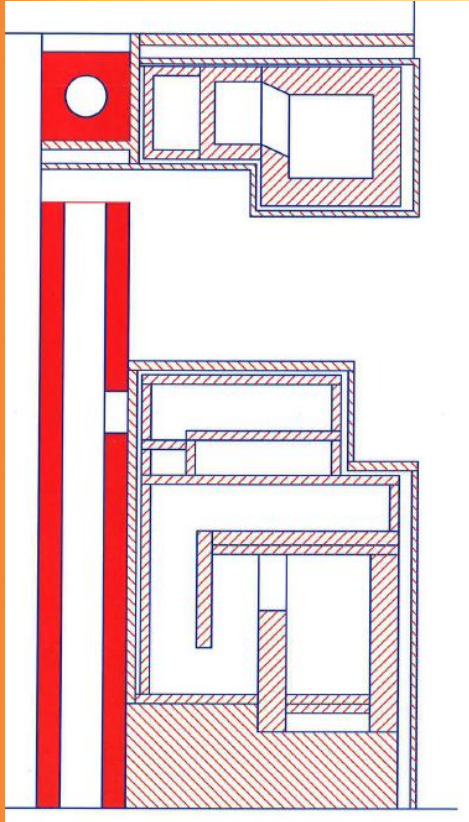
P_n согласованная номинальная тепловая мощность в кВт

t_n согласованное время аккумуляции в ч



Расчёт кафельной печи:

- Пример



Общие данные

отопительная мощность кВт

геодезическая высота м

Автоматика отключения

Строительный тип

С воздушным зазором

Плотный шамот



Расчёт кафельной печи:

- Расчёт основных размеров топки:
 - Внутренняя поверхность топки

$$O_{BR} = 900 \cdot m_B$$

m_B максимальное количество топлива в кг

O_{BR} площадь внутренней поверхности топки в см²

Учитываются все боковые стенки, под, перекрытие топки, площадь дверцы и площадь поперечного сечения для отвода продуктов сгорания из топки.

Размеры камеры сгорания влияют на качество сгорания топлива и, как следствие, на выбросы



Расчёт кафельной печи:

• Расчёт основных размеров топки:

– Высота топки

$$H_{BR} = \frac{900 \cdot m_B - 2 \cdot A_{BR}}{U_{BR}}$$

m_B максимальное количество топлива в кг

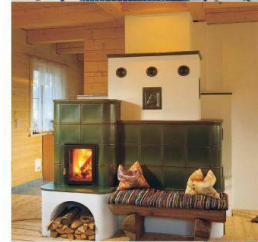
A_{BR} площадь пода в см²

H_{BR} высота топки в см

U_{BR} периметр топки в см

Минимальная высота топки:

$$H_{BR} \geq 25 + m_B$$



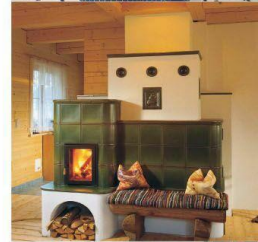
Расчёт кафельной печи:

•Расчёт основных размеров топки:

- Максимальный размер стекла печной дверцы

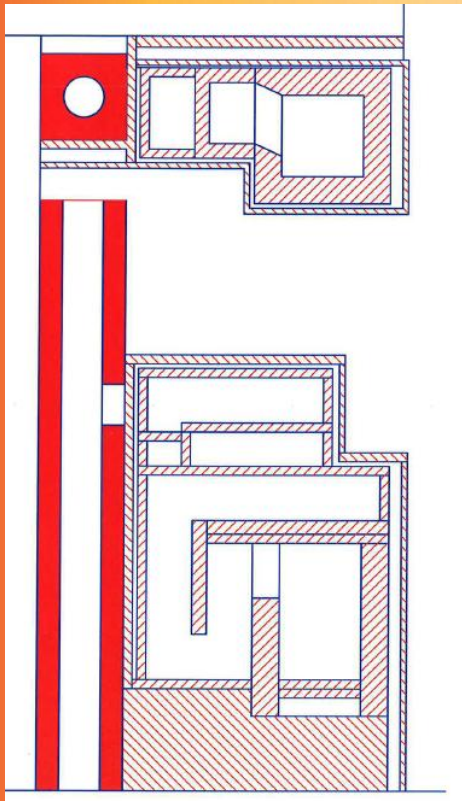
$$\text{Макс. площадь стекла} = O_{BR}/6 \text{ [cm}^2\text{]}$$

O_{BR} площадь внутренней поверхности топки в cm^2



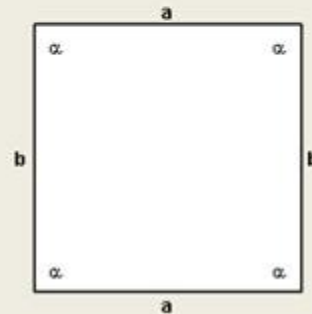
Расчёт кафельной печи:

- Пример



<input checked="" type="radio"/> Обычная топка	газовый шпиль	<input type="text" value="12 см²"/>
<input type="radio"/> Био-топка	сечение приточного воздуха	<input type="text" value="111 см²"/>
	высота топки	<input type="text" value="55,8 см"/>
<small>53,1 < h < 68,6</small>		

Тип топки: стоящая, прямоугольная



Размеры топки
длина (см) углы (градусы)

a = 36,0 α = 90
b = 36,0

Площадь см²; Предполаг. знач.

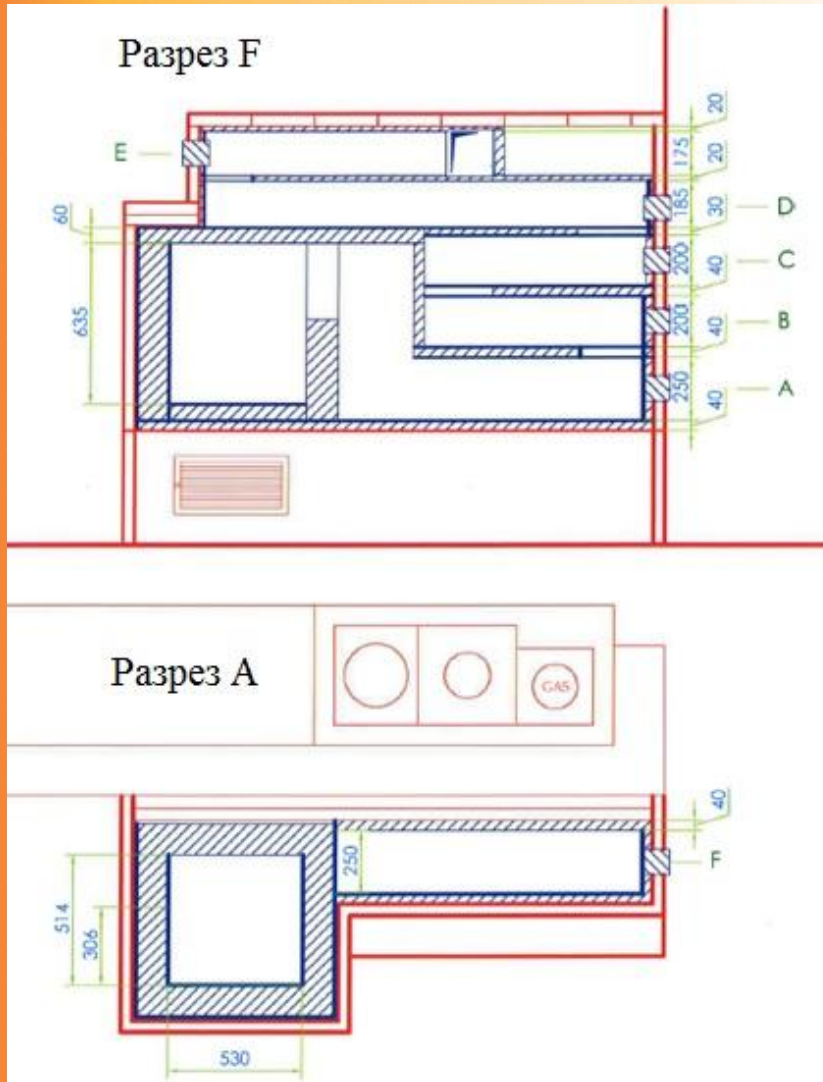
 max:1536
min:1182

Размеры на чертеже
длина (см) углы (градусы)

A =
B =



Расчёт кафельной печи:



- **Расчёт минимальной длины дымовых каналов:**
 - Существуют различия в методике расчета кафельных печей различных строительных типов

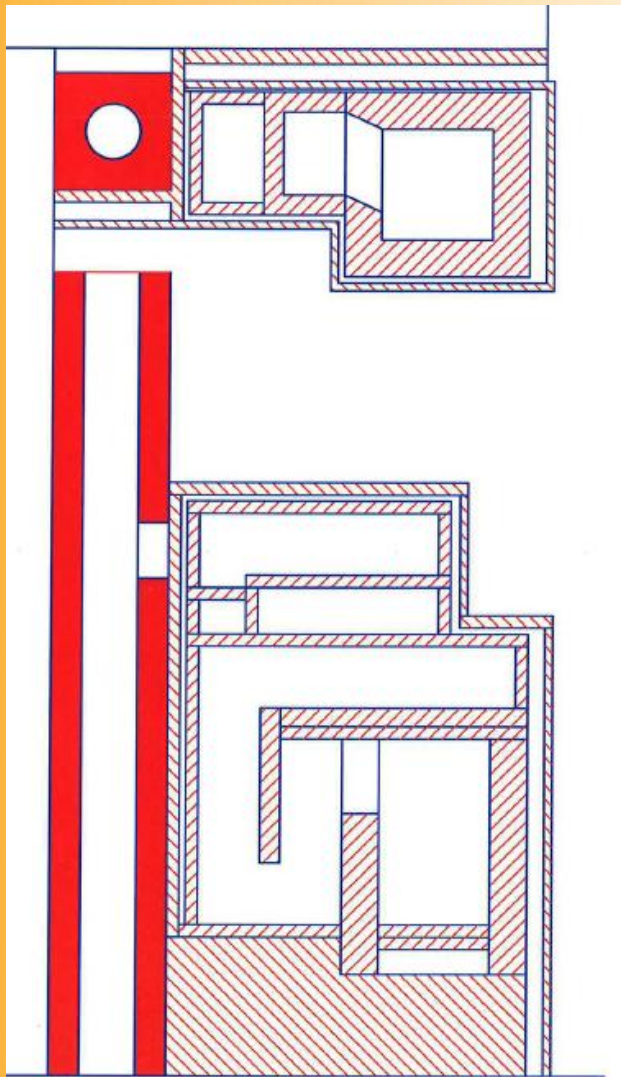
Строительный тип без воздушного зазора
(традиционная конструкция)

$$L_{Zmin} = 1,3 \cdot \sqrt{m_B}$$

- m_B максимальное количество топлива в кг
 L_{Zmin} минимальная длина дымовых каналов в м



Расчёт кафельной печи:



- **Расчёт минимальной длины дымовых каналов:**
 - Существуют различия в методике расчета кафельных печей различных строительных типов

Строительный тип: с воздушным зазором

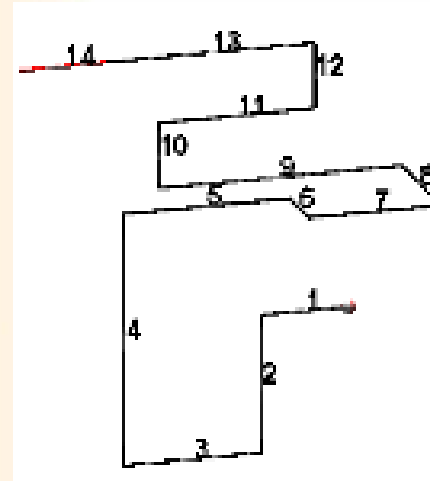
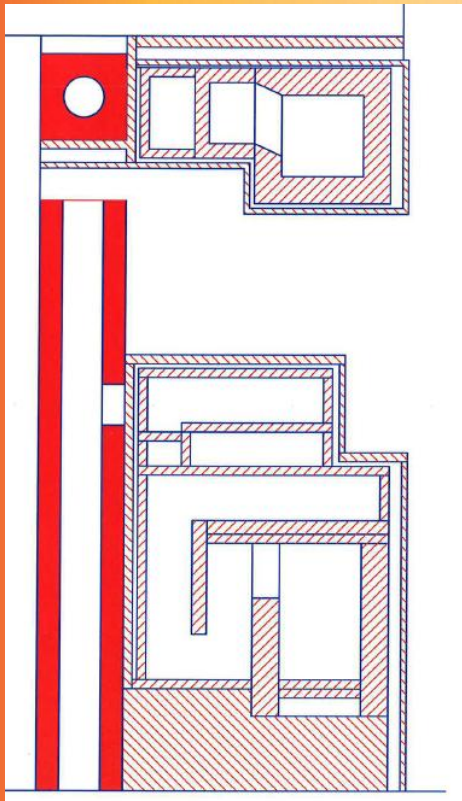
$$L_{Zmin} = 1,5 \cdot \sqrt{m_B}$$

m_B максимальное количество топлива в кг

L_{Zmin} минимальная длина дымовых каналов в м

Расчёт кафельной печи:

- Пример



Мин. длина канала=5,16м
 Действит. длина канала=5,32м
 КПД=78,8% ✓

Разница давлений =0,32Па ✓
 Температура в устье = 204°C
 Темп. внутр. стенки = 168°C ✓



Расчёт кафельной печи:

- Расчёт минимальной длины дымовых каналов:
 - Максимальная длина дымовых каналов не рассчитывается!
 - Однако, максимальная длина дымовых каналов ограничена:
 - Тягой дымовой трубы
 - Охлаждением дымовых газов в дымовой трубе – опасность образования конденсата!

Длина дымовых каналов напрямую влияет на КПД печи!

- Расчёт газового шлица (байпаса):

$$A_{GS} = 1 \cdot m_B$$

A_{GS} сечение газового шлица в см^2

m_B максимальное количество топлива в кг



Расчёт кафельной печи:

• Определение основных теплотехнических показателей кафельной печи:

- Расход топлива [кг/ч]

$$m_{BU} = 0,78 \cdot m_B$$

m_B максимальная количество топлива в кг

m_{BU} оптимальный расход топлива в кг/ч

- Определение среднего коэффициента избытка воздуха: $\lambda = 2,95$

- Массовый поток дымовых газов:

$$\dot{m}_G = 0,0035 \cdot m_B$$



Расчёт кафельной печи:

• Определение объемного расхода воздуха на горение и объемного расхода дымовых газов:

– Объемный расход воздуха на горение

$$\dot{V}_L = 0,002\ 56 \cdot m_B \cdot f_t \cdot f_s$$

\dot{V}_L объемный расход воздуха на горение в м³/с

m_B максимальное количество топлива в кг

f_t температурный корректирующий коэффициент

f_s корректирующий коэффициент высоты над уровнем моря

Определение требуемого свободного сечения для подвода воздуха при скорости потока от 2 до 4 м/с:

$$A = \frac{\dot{V}}{v}$$

v скорость потока в м/с

\dot{V} объемный расход воздуха, воздуха на горение, дымовых газов в м³/с

A площадь поперечного сечения потока в м²



Расчёт кафельной печи:

- Определение объемного расхода воздуха на горение и объемного расхода дымовых газов :

- Объемный расход дымовых газов

$$\dot{V}_G = 0,002\,73 \cdot m_B \cdot f_t \cdot f_s$$

\dot{V}_L объемный расход воздуха на горение в м³/с

m_B максимальное количество топлива в кг

f_t температурный корректирующий коэффициент

f_s корректирующий коэффициент высоты над уровнем моря

Определение требуемого свободного сечения для подвода воздуха при скорости потока от 1,2 до 6 м/с:

$$A = \frac{\dot{V}}{v}$$

v скорость потока в м/с

\dot{V} объемный расход воздуха, воздуха на горение, дымовых газов в м³/с

A площадь поперечного сечения потока в м²



Расчёт кафельной печи:

• Определение корректирующих коэффициентов:

– Корректирующий температурный коэффициент

$$f_t = \frac{273 + t}{273}$$

f_t Корректирующий температурный коэффициент
 t Температура в °C

– Корректирующий коэффициент высоты над уровнем моря

$$f_s = \frac{1}{e^{(-9,81 * z) / 78624}}$$

f_s Корректирующий коэффициент высоты над уровнем моря
 z геодезическая высота в м



Расчёт кафельной печи:

- Расчёт температуры продуктов сгорания и дымовых газов:
 - Среднее значение температуры в топке

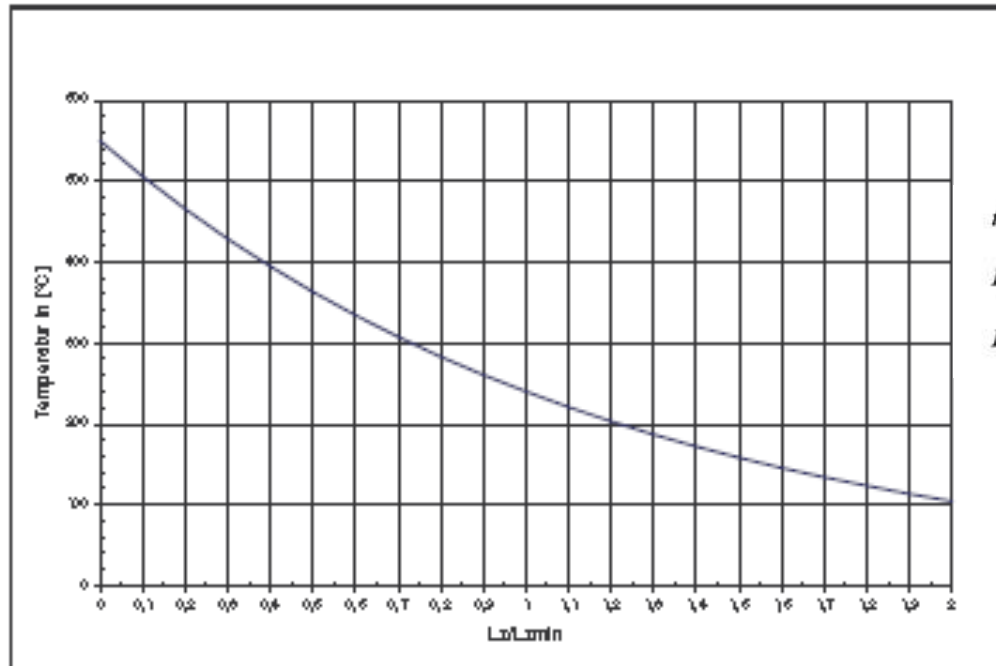
$$t_{BR} = 700$$

t_{BR} Температура в топке в °C



Расчёт кафельной печи:

- Расчёт температуры продуктов сгорания и дымовых газов :
 - Температура в каналах продуктов сгорания



$$t = 550 \cdot e^{\frac{-0,83 \cdot L_z}{L_{zmin}}}$$

t Температура в °C

L_z Длина каналов продуктов сгорания в м

L_{zmin} Минимальная длина дымовых каналов в м



Расчёт кафельной печи:

- **Определение толщины шамота в зависимости от времени аккумуляции и температуры продуктов сгорания в канале:**

Время между закладками t_n может быть в пределах от 8 до 24 часов. На практике, хорошо себя зарекомендовали следующие толщины шамота в зависимости от средней температуры продуктов сгорания:

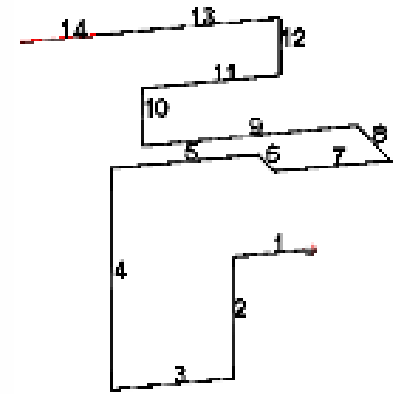
Температура в [°C]	0 - 200	200 - 250	250 - 300	300 - 400	> 400
Закладка через 8 ч	15 мм	15 мм	20 мм	25 мм	30 мм
Закладка через 12 ч	15 мм	20 мм	25 мм	30 мм	40 мм
Закладка через 16-24 ч	25 мм	30 мм	30 мм	40 мм	50 мм

Эти значения применимы для внешней оболочки из кафеля либо других печных материалов толщиной около 55 мм.



Расчёт кафельной печи:

- Пример



Nr.	l[m]	h[m]	Dir.	A[m ²]	b[cm]	h[cm]	T[°C]	VA[m ³ /c]	v[m/c]	ph[Pa]	αf	pr[Pa]	pd[Pa]	ζ	pu[Pa]
Канал 1	0,25	0,00	0	0,0648	27,0	24,0	539	0,098	1,52	0,00	0,0401	0,02	0,48	0,00	0,00
Канал 2	0,40	-0,40	90	0,0540	27,0	20,0	512	0,095	1,76	-3,24	0,0415	0,05	0,67	1,20	0,81
Канал 3	0,40	0,00	90	0,0540	27,0	20,0	480	0,091	1,69	0,00	0,0415	0,05	0,65	1,20	0,78
Канал 4	0,73	0,73	90	0,0640	32,0	20,0	438	0,086	1,35	5,59	0,0405	0,05	0,43	1,20	0,52
Канал 5	0,48	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	397	0,081	2,90	0,00	0,0469	0,29	2,14	1,39	2,99
Канал 6	0,18	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	377	0,079	2,81	0,00	0,0469	0,11	2,08	1,20	2,49
Канал 7	0,38	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	360	0,077	2,74	0,00	0,0469	0,22	2,02	1,20	2,43
Воздух				0,0111											
Топка															
Дым. гр	4,6			0,0254	18,0		206	0,058	2,28						
Сумма															

Данные для канала 1

Удалить канал

Длина = см

прямоугольный Поперечное сечение

Высота = см

Ширина = см

Направление = левое

Изменить направление

Поп. сеч. канала = 648см²

Температура = 539°C

Толщина шамота = мм

Толщина конструкции нал каналом = мм

Расчёт кафельной печи:



- Определение температуры дымовых газов в дымовой трубе и температуры на внутренней стенке устья дымовой трубы:
 - Необходимо для определения статического давления в дымоходе.
 - Определение температуры на внутренней стенке устья дымовой трубы для проверки прохождения точки росы (опасность образования конденсата при температуре внутренней стенки $< 45^{\circ}\text{C}$)

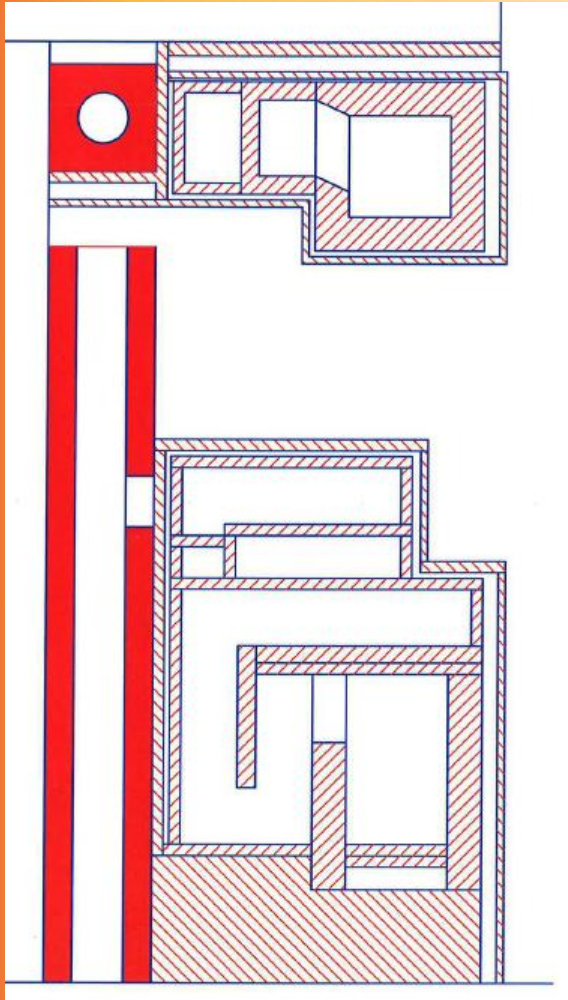
По EN 13384 – 1 „Расчёт конструкций для удаления дымовых газов“

Nr.	l[m]	h[m]	Dir.	A[m ²]	b[cm]	h[cm]	T[°C]	VA[m ³ /c]	v[m/c]	ph[Па]	λf	pr[Па]	pd[Па]	ζ	pu[Па]
Канал 1	0,25	0,00	0	0,0648	27,0	24,0	539	0,098	1,52	0,00	0,0401	0,02	0,48	0,00	0,00
Канал 2	0,40	-0,40	90	0,0540	27,0	20,0	512	0,095	1,76	-3,24	0,0415	0,05	0,67	1,20	0,81
Канал 3	0,40	0,00	90	0,0540	27,0	20,0	480	0,091	1,69	0,00	0,0415	0,05	0,65	1,20	0,78
Канал 4	0,73	0,73	90	0,0640	32,0	20,0	438	0,086	1,35	5,59	0,0405	0,05	0,43	1,20	0,52
Канал 5	0,48	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	397	0,081	2,90	0,00	0,0469	0,29	2,14	1,39	2,99
Канал 6	0,18	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	377	0,079	2,81						
Канал 7	0,38	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	360	0,077	2,74						
	0,27	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	320	0,074	2,65						
Воздух				0,0111											
Топка															
Дым. тр	4,6			0,0254	18,0		206	0,058	2,28	25,48		1,90		1,20	2,28
Сумма										35,20		4,12			30,76

Температура устья дымовой трубы = 204°C

Температура внутренней стенки Д.Т. = 168°C

Расчёт кафельной печи:



- **Аэродинамический расчёт:**
- Расчёт статического давления (подъемной силы)
 - Статическое давление возникает в дымоходе из-за разницы плотностей газообразных продуктов сгорания топлива и воздушного столба
 - В топке, подъемных каналах продуктов сгорания и дымовой трубе значения статического давления положительные
 - В опускных каналах значения статического давления отрицательные

$$p_h = g \cdot H \cdot (\rho_L - \rho_G)$$

p_h Статическое давление в Па

g Ускорение свободного падения (9,8 м/с²)

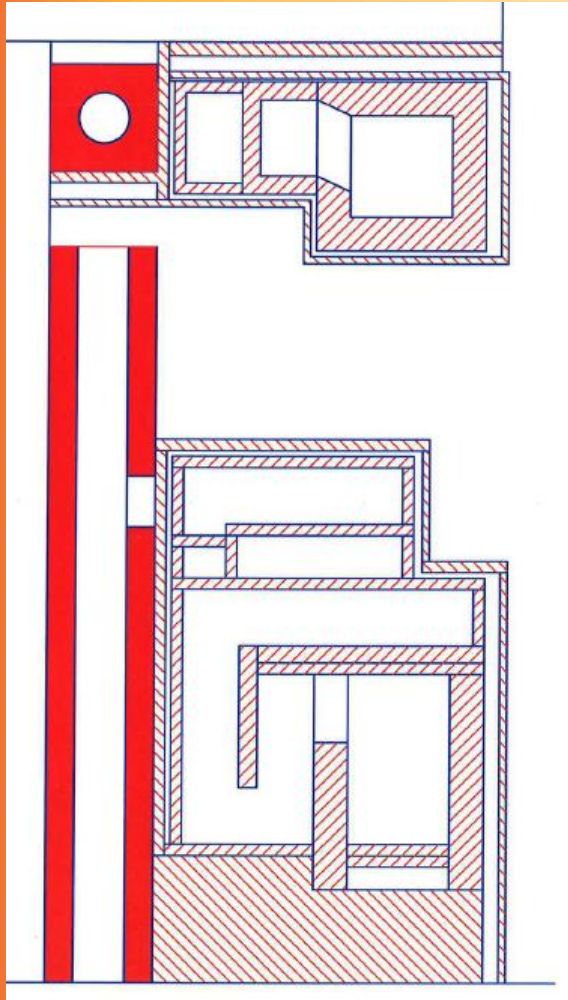
H Эффективная высота в м (от точки подключения)

ρ_L Плотность воздуха в кг/м³

ρ_G Плотность газов в кг/м³



Расчёт кафельной печи:



- **Аэродинамический расчёт:**
 - **Расчёт потерь давления на трение**
 - Потери давления на трение происходят в каналах продуктов сгорания, в соединительном патрубке и в дымовой трубе.

$$p_R = \frac{\lambda_f \cdot p_d \cdot L}{D_h}$$

p_f Потери давления на трение в Па;

p_d Динамическое давление в Па;

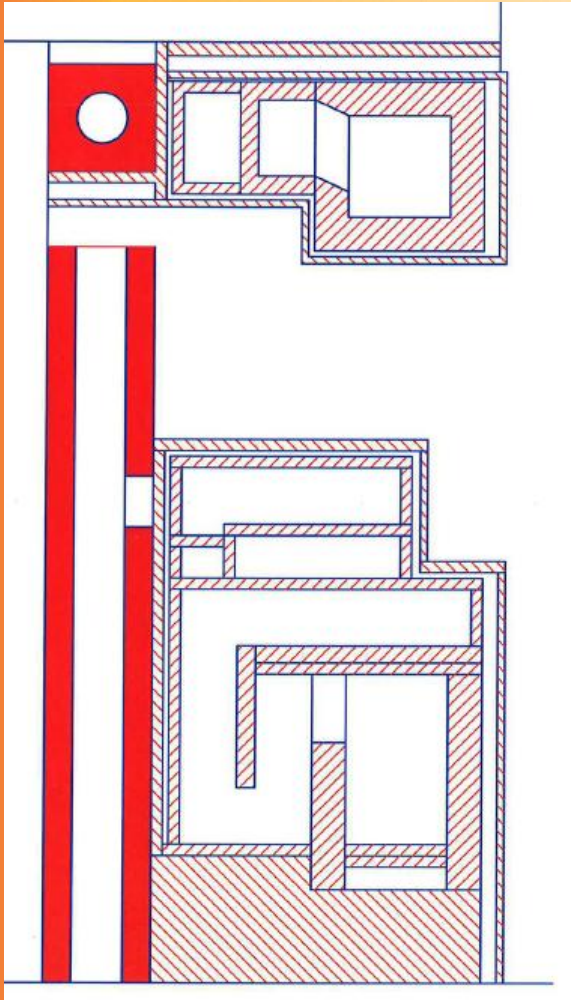
λ_f Коэффициент потерь давления на трение;

L Длина канала продуктов сгорания, соединительного патрубка или конструкции для удаления дымовых газов, в м

D_h Гидравлический диаметр в м



Расчёт кафельной печи:



- **Аэродинамический расчёт :**
 - **Расчёт потери давления при повороте**
 - Рассчитывается из динамического давления и коэффициента сопротивления

$$p_u = \zeta \cdot p_d$$

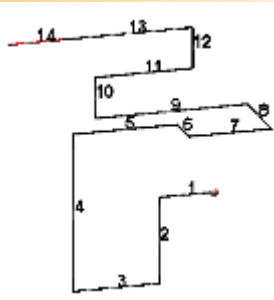
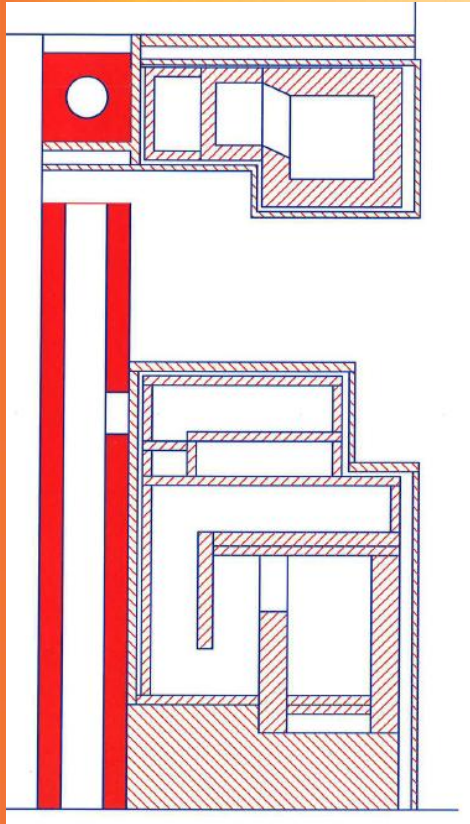
p_u Потери давления в Па;

ζ Коэффициент сопротивления при повороте;

p_d Динамическое давление в Па.



Расчёт кафельной печи:



Аэродинамический расчёт:

– Проверка – условие по давлению

Nr.	l[M]	h[M]	Dir.	A[M²]	b[cm]	h[cm]	T[°C]	VA[M³/c]	vM/d	ph[Pa]	Δf	pr[Pa]	pd[Pa]	ζ	pu[Pa]
Канал 7	0,10	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	377	0,079	2,81	0,00	0,0469	0,11	2,08	1,20	2,48
Канал 8	0,37	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	339	0,074	2,65	0,00	0,0469	0,21	1,96	1,20	2,35
Канал 9	0,70	0,00	90	0,0280	14,0	20,0	311	0,071	2,53	0,00	0,0469	0,37	1,87	1,20	2,24
Канал 10	0,19	0,19	90	0,0280	20,0	14,0	290	0,068	2,43	1,22	0,0469	0,10	1,80	1,20	2,16
Канал 11	0,45	0,00	90	0,0280	20,0	14,0	275	0,066	2,37	0,00	0,0469	0,22	1,75	1,20	2,10
Канал 12	0,19	0,19	90	0,0280	20,0	14,0	261	0,065	2,31	1,16	0,0469	0,09	1,71	1,20	2,05
Канал 13	0,60	0,00	90	0,0280	20,0	14,0	245	0,063	2,24	0,00	0,0469	0,28	1,66	1,20	1,99
ПДТ 14	0,25			0,0201	16,0		228	0,061	3,04	0,00	0,0325	0,16	3,13	0,00	0,00
Воздух				0,0111									5,28	0,30	5,58
Топка										4,98					0,00
П. топка	4,6			0,0254	18,0		206	0,058	2,28	25,48		1,90		1,20	2,28
Сумма										35,20		4,12			30,76

ПДТ 14 – патрубок от каналов к дымовой трубе

$$\sum \rho_r + \sum \rho_u \leq \sum \rho_h \leq 1,05 \cdot (\sum \rho_r + \sum \rho_u)$$

$$4,12 + 30,76 \leq 35,20 \leq 1,05 \times (4,12 + 30,76)$$

$$34,88 \leq 35,20 \leq 36,62$$

$$\Delta p = 1,74 \text{ Pa}$$

