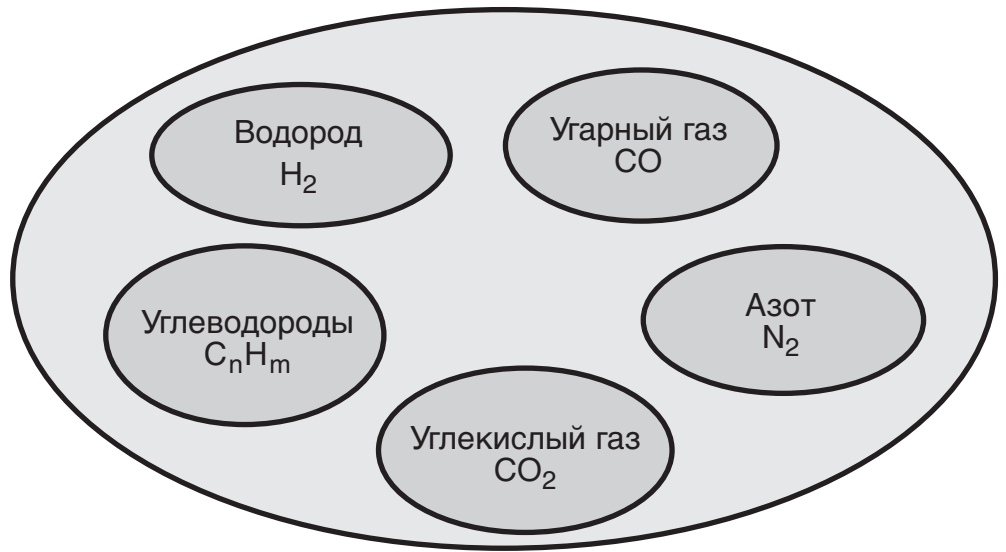


ОСНОВЫ СЖИГАНИЯ ГАЗА

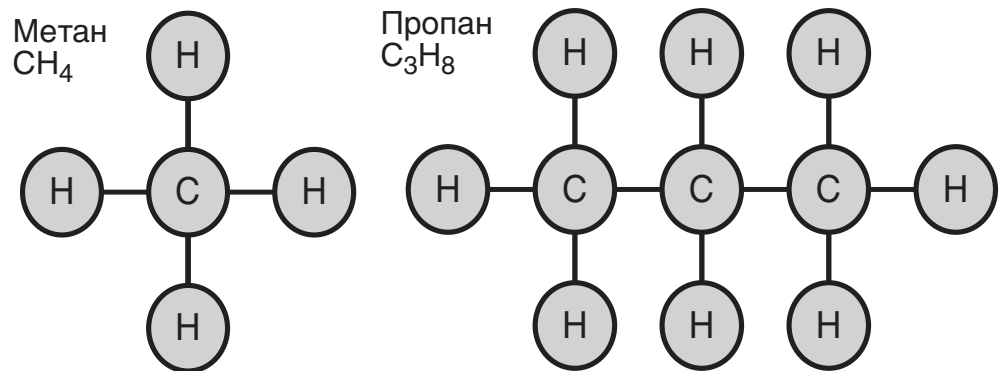
Состав газа и воздуха	2
Полное сгорание газа	3
Сгорание газа при недостатке воздуха	3
Сгорание газа при избытке воздуха	4
Избыток воздуха	5
Технический КПД сгорания газа	6
КПД и температура дымовых газов	7
КПД и экология	8
Взаимосвязь количества CO и избытка воздуха	9
Теплота сгорания газа и максимальное значение CO ₂	10
Виды и состав газа.	11
Теплота сгорания газа и потребность воздуха, макс. значение CO ₂	12
Количество газа и потребность в воздухе	13
Характеристики некоторых видов газа	14

Состав газа и воздуха

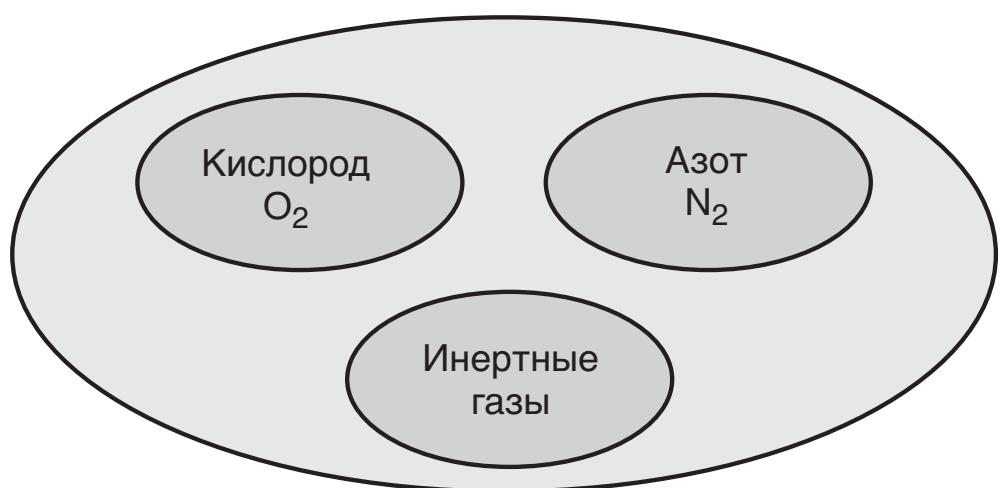
Газ



Примеры углеводородов



Воздух

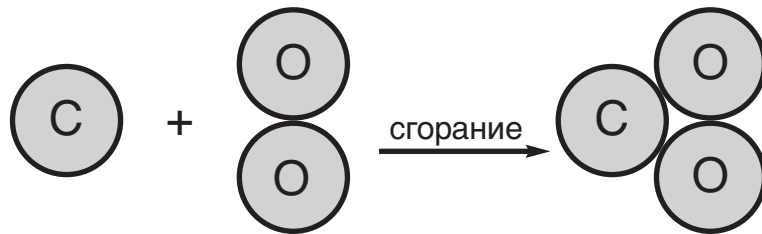
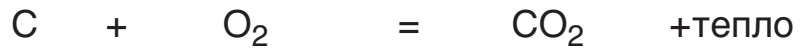


Газ и воздух представляют собой смесь нескольких химических веществ.

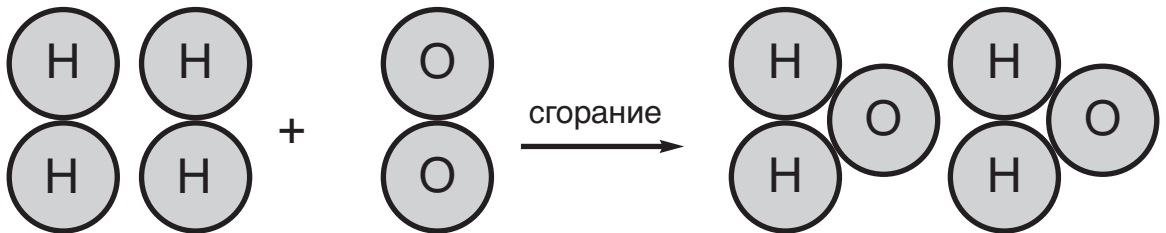
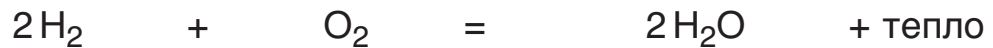
Горючими составляющими газа являются: углеводородные соединения, водород и угарный газ. Эти составные части сгорают при участии кислорода воздуха.

Полное сгорание газа

а) углерод + кислород = углекислый газ + тепло



б) водород + кислород = водяной пар + тепло

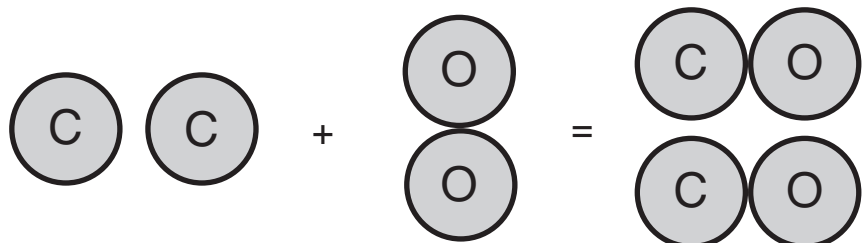


При сгорании смеси газа и воздуха горючие составные части газа реагируют с кислородом воздуха.

Полное сгорание характеризуется тем, что в реакции участвует такое количество кислорода, которое необходимо теоретически.

Сгорание газа при недостатке воздуха

Углерод + кислород = угарный газ



При недостатке воздуха углерод сгорает не полностью. В этом случае в результате реакции выделяется угарный газ.

Помимо выделения угарного газа (при использовании сжиженного газа) может образовываться также сажа.

Таким образом при недостатке воздуха могут быть следующие отрицательные стороны сгорания:

1. Взрывоопасность.
2. Ядовитый угарный газ.
3. Снижение КПД.

Сгорание газа при избытке воздуха

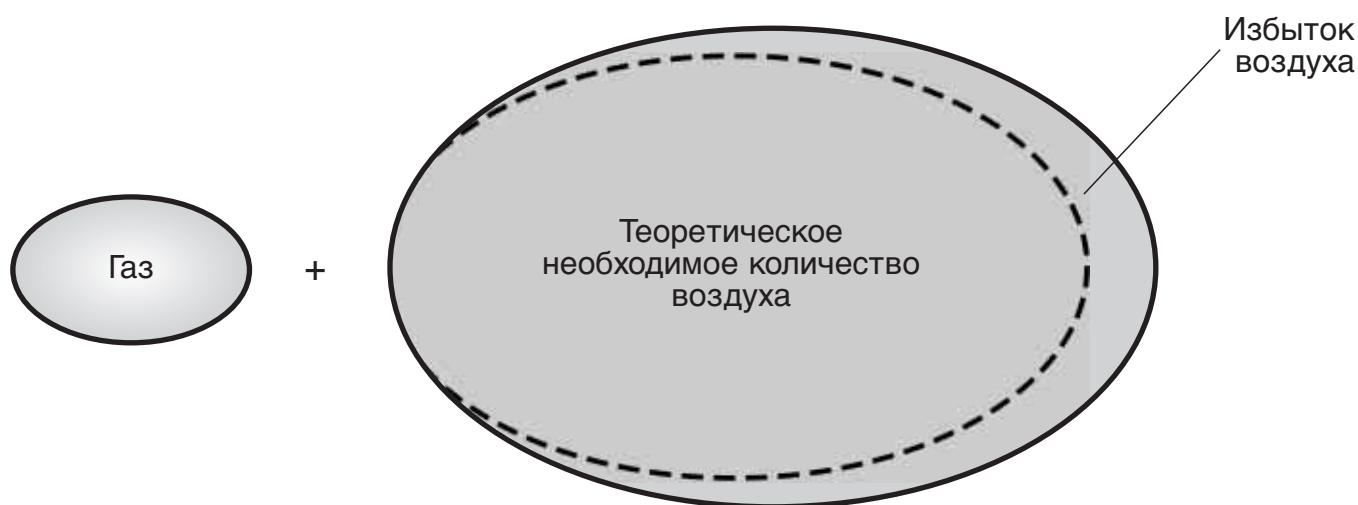
Влияние внешних факторов на сгорание газа



Из-за внешних воздействий, таких, например, как температура и давление воздуха, давление в камере сгорания и т.п., количество поступающего воздуха,

а, соответственно, и содержание кислорода, не всегда постоянно. Вследствие этого может возникнуть недостаток воздуха и образование вредных веществ.

Превышение необходимого количества воздуха

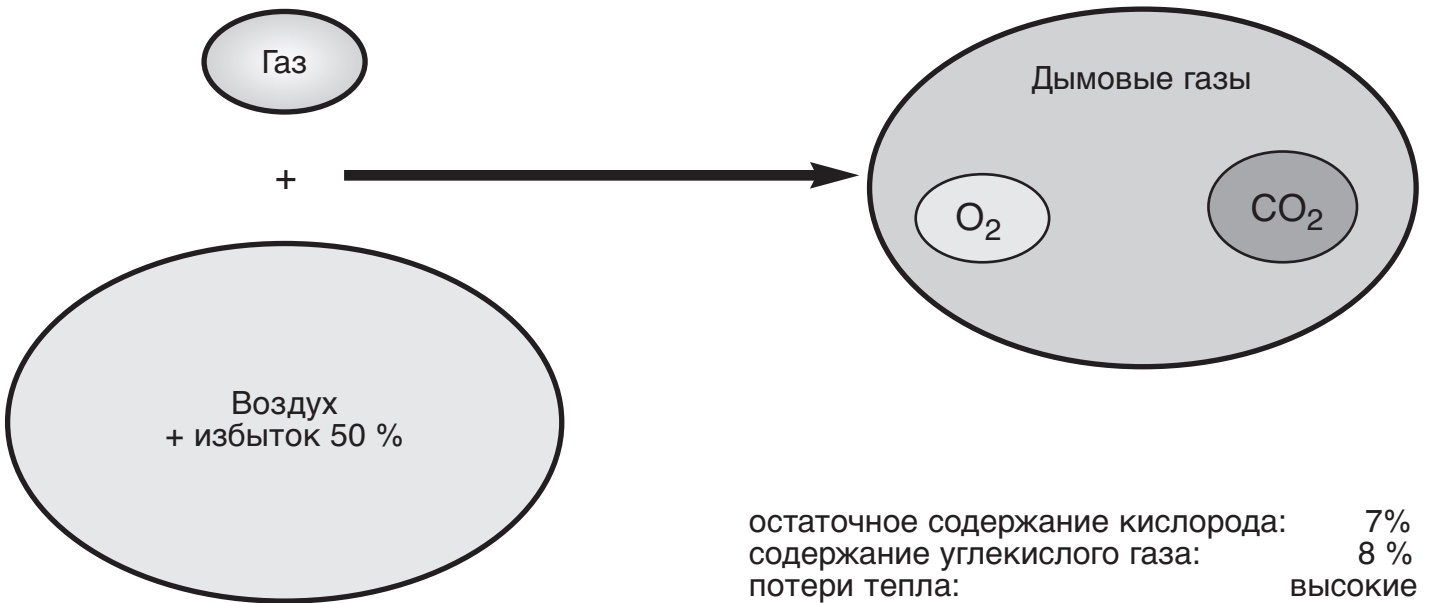


Для того, чтобы избежать этого, горелку настраивают на большее количество поступающего воздуха. В этом случае сгорание происходит при избытке воздуха.

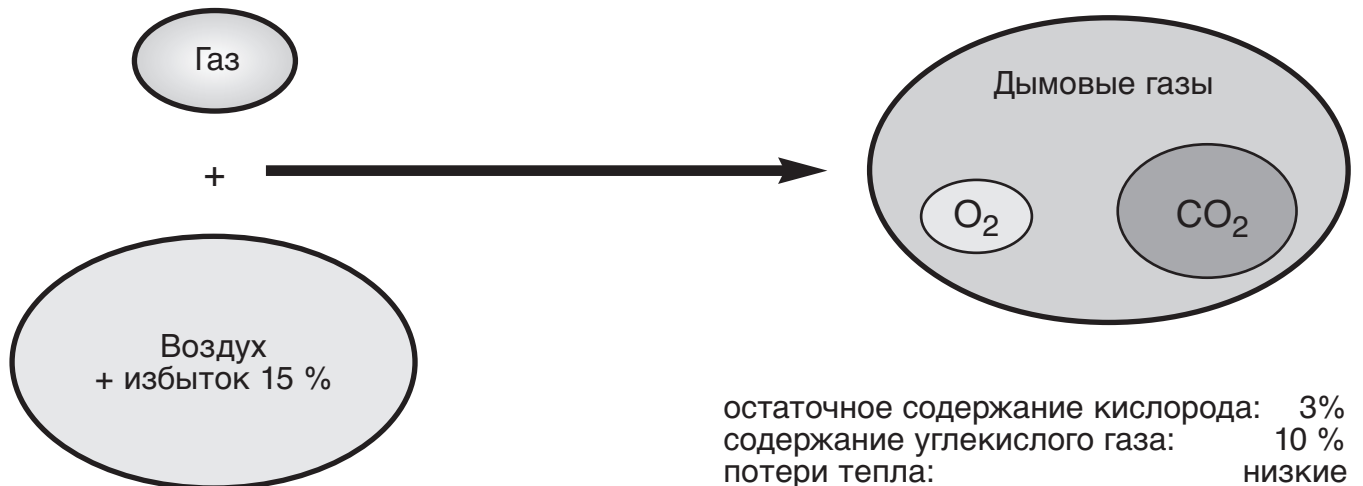
Однако сгорание при избытке воздуха характеризуется дополнительной потерей тепла.

Избыток воздуха

Сгорание при избытке воздуха 50%



Сгорание при избытке воздуха 15%

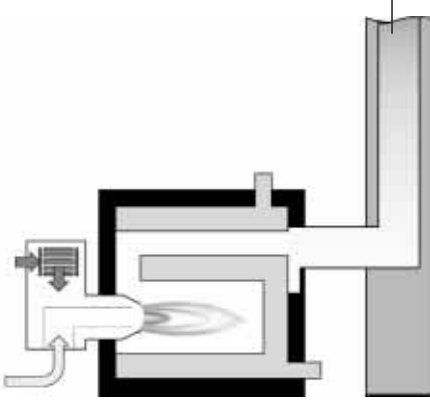
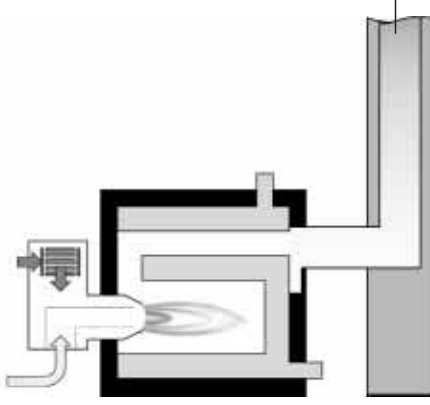
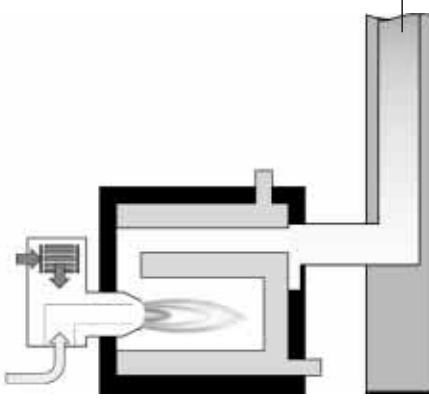


Для того, чтобы сгорание не проходило при недостатке воздуха, необходим его избыток. Но этот избыток воздуха должен быть минимальным, чтобы потери тепла были наименьшими.

Таким образом с уменьшением избытка воздуха:

1. Увеличивается в процентном отношении содержание углекислого газа в дымовых газах.
2. Уменьшается в процентном отношении содержание несгоревших остатков кислорода в дымовых газах.
3. Увеличивается КПД благодаря уменьшению потерь тепла.

Технический КПД сгорания газа

1. Настройка количества воздуха или газа	2. Изменение настройки (снижение избытка воздуха)	3. Дальнейшие изменения (дальнейшее уменьшение избытка воздуха)
<p>Измерение:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">CO₂ 6%</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">O₂ 10,3%</div> </div>	<p>Измерение:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">CO₂ 8%</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">O₂ 6,7%</div> </div>	<p>Измерение:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">CO₂ 10%</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">O₂ 3,2%</div> </div>
<p>КПД: 90% 10%</p> 	<p>КПД: 92,3% 7,7%</p> 	<p>КПД: 93,6% 6,4%</p> 

Высокое содержание углекислого газа
(низкое остаточное содержание кислорода)

↓
Высокий КПД

↓
Минимальные потери энергии

Высокое содержание углекислого газа или небольшое остаточное содержание кислорода в дымовых газах означает низкие потери тепла или, другими словами, высокий КПД. Рассматриваемый здесь КПД является техническим КПД горения.

Необходимо увеличивать КПД, соответствующим образом установив количество поступающего для сгорания воздуха. Величина КПД устанавливается путем измерения содержания углекислого газа или остаточного содержания кислорода в дымовых газах.

КПД и температура дымовых газов

$t_{дг}$ - температура дымовых газов, К
 $t_{в}$ - температура воздуха, К

Избыток воздуха	<p>CO₂ 10% O₂ 3,2%</p>	<p>CO₂ 10% O₂ 3,2%</p>	<p>CO₂ 10% O₂ 3,2%</p>	<p>CO₂ 11% O₂ 1,4%</p>
Температура дымовых газов $t_{дг} - t_{в}$	<p>$t_{дг} - t_{в} = 120$ К</p>	<p>$t_{дг} - t_{в} = 140$ К</p>	<p>$t_{дг} - t_{в} = 230$ К</p>	<p>$t_{дг} - t_{в} = 230$ К</p>
КПД	<p>94,5% 5,5%</p>	<p>93,6% 6,4%</p>	<p>89,4% 10,6%</p>	<p>90,2% 9,8%</p>

Решающую роль в величине КПД играет температура дымовых газов.

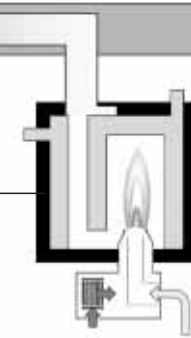
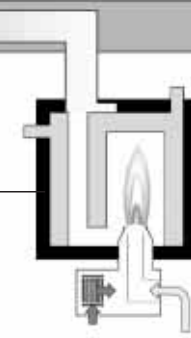
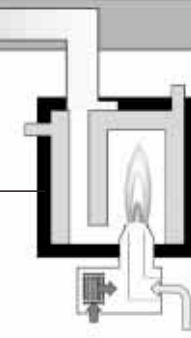
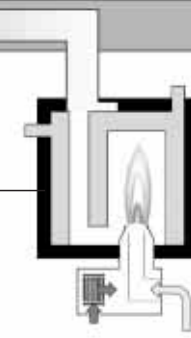
При высокой температуре дымовых газов КПД снижается (при условии, что содержание CO₂

или O₂ остается неизменным).

Температура отходящих дымовых газов определяется конструкцией и техническими данными тепловой установки и не подлежит

изменению при настройке соотношения количества газа и воздуха

КПД и экология

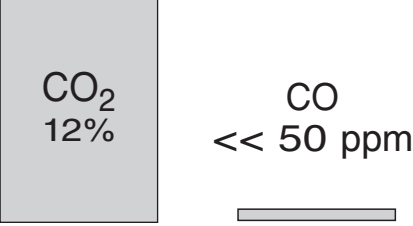
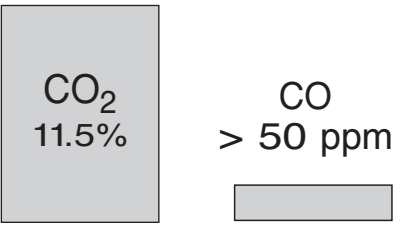
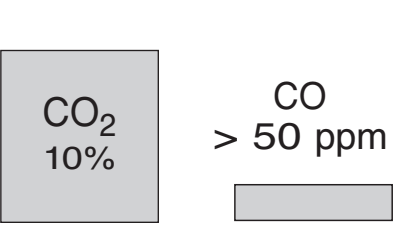
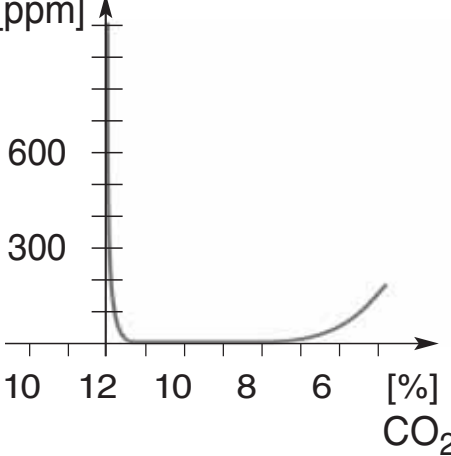
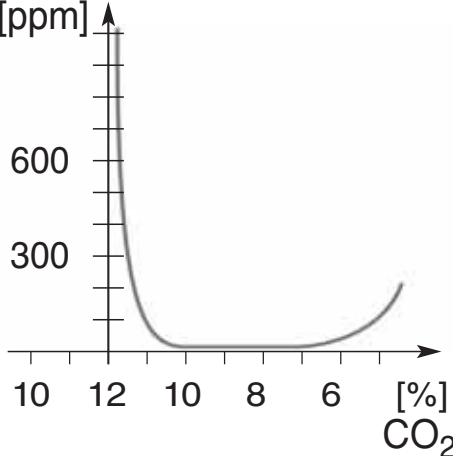
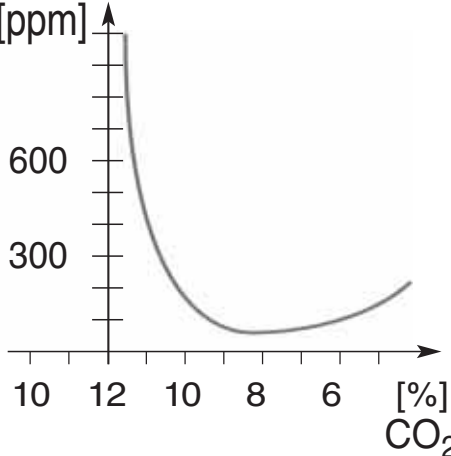
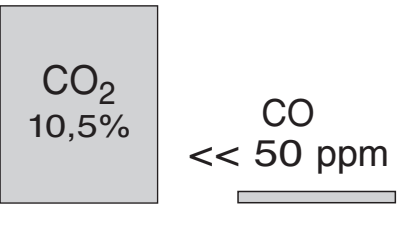
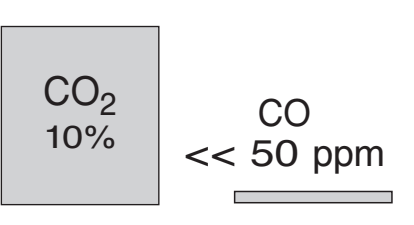
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO₂ 6%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O₂ 10,3%</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO₂ 10%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O₂ 3,2%</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO₂ 11%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O₂ 1,4%</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO₂ 11,5%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O₂ 0,5%</div> </div>
Содержание CO	CO- около 0,005 %	CO- 0%	CO- 0%	CO- около 0,3%
КПД	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">90%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">10%</div> </div> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">93,6%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6,4%</div> </div> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">94%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6%</div> </div> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">94,2%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5,8%</div> </div> 
Примечания	Низкий КПД	Наилучшая настройка (высокий КПД, отсутствие CO)	Малый избыток воздуха	Высокое содержание CO

Кроме требований к высокому КПД существуют также требования по экологии. Специалист должен позаботиться об отсутствии образования угарного газа. В этой области законодательством установлены максимальные уровни выбросов.

Для газовых горелок содержание окиси углерода при использовании природного газа не должно превышать 100 мг/кВтч.

В соответствии с этими требованиями необходимо настроить горелку таким образом, чтобы избыток воздуха был минимальным. И при этом не должен образовываться угарный газ.

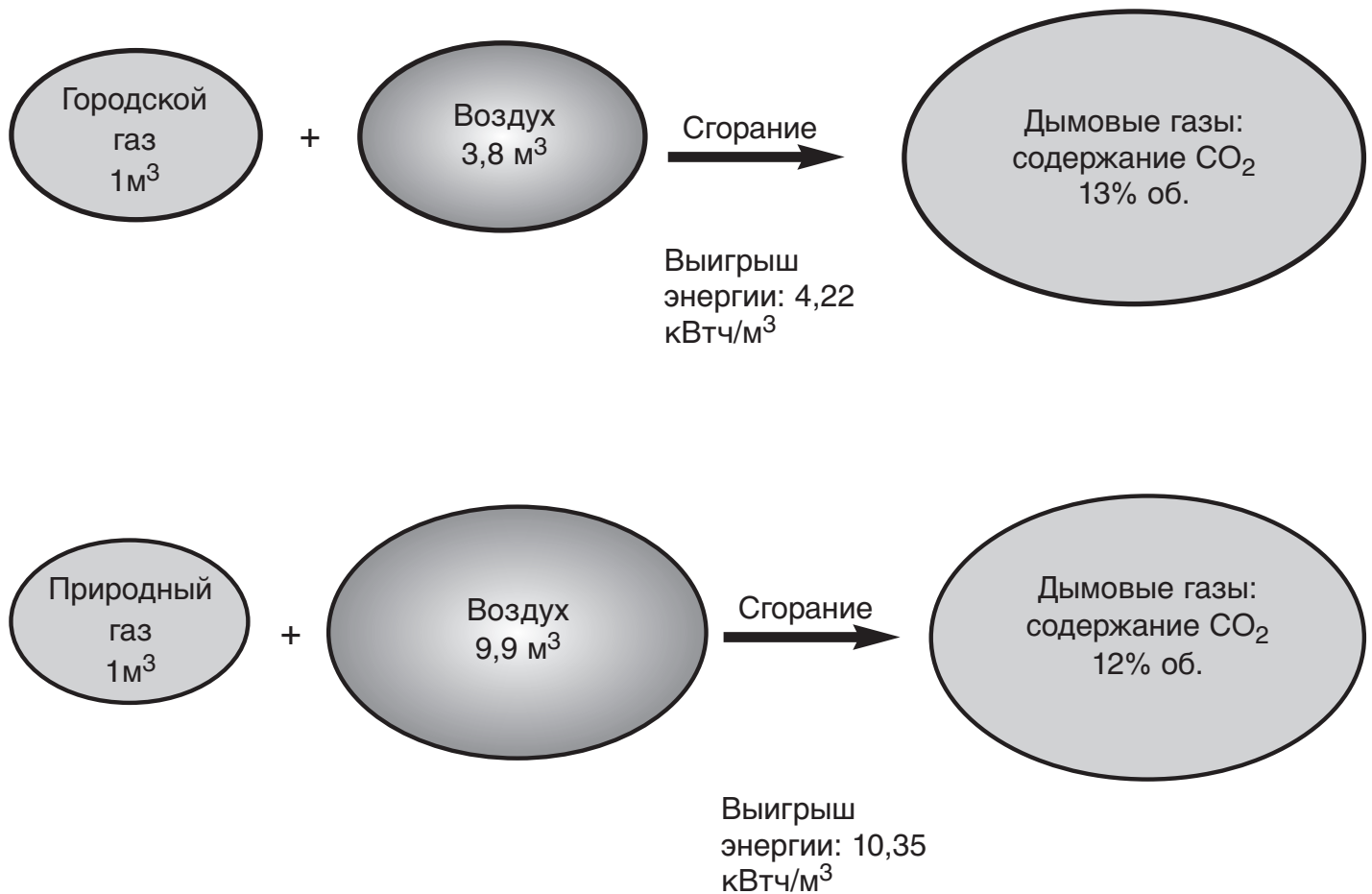
Взаимосвязь количества CO и избытка воздуха

<p>1. Оптимальные условия сгорания</p>	<p>2. Хорошие условия сгорания</p>	<p>3. Плохие условия сгорания</p>
<p>Измерение:</p> 	<p>Измерение:</p> 	<p>Измерение:</p> 
<p>CO [ppm]</p>  <p>CO₂ [%]</p>	<p>CO [ppm]</p>  <p>CO₂ [%]</p>	<p>CO [ppm]</p>  <p>CO₂ [%]</p>
<p>Настройка:</p> 	<p>Настройка:</p> 	<p>Перенастройка горелки</p>

На графиках зависимости CO от CO₂ видно, что при незначительном избытке воздуха (при высоком содержании CO₂) содержание CO значительно

возрастает, и наоборот, при значительном избытке воздуха (малое содержание CO₂) содержание CO увеличивается незначительно.

Теплота сгорания газа и максимальное значение CO₂

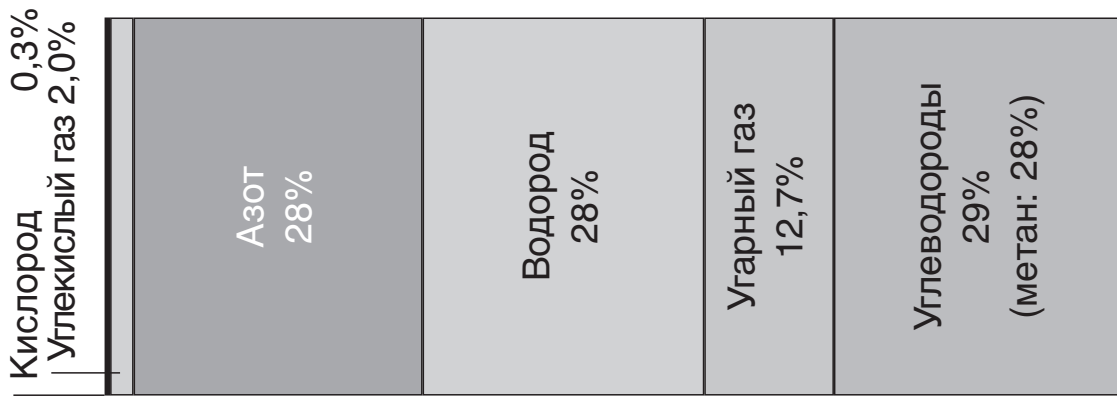


Существуют различные виды газа, отличающиеся своими свойствами. Наиболее важными свойствами являются: теплота сгорания, максимальное значение CO₂ и потребность в воздухе для горения. Под теплотой сгорания понимают количество энергии, выделяемое при полном сгорании 1 м³ газа (относительно нормальных условий)

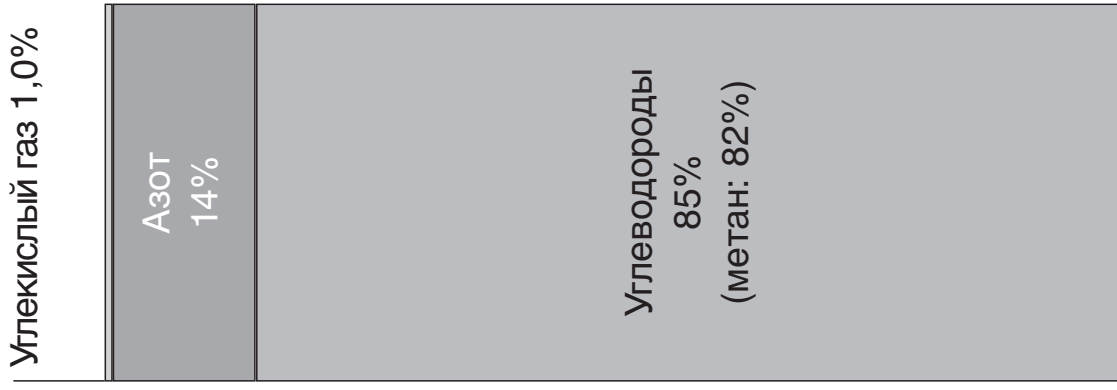
Иными словами это можно назвать выигрышем в энергии. Таким образом по характеру протекания процесса сгорания газы различаются по:

- теплоте сгорания;
- максимальному значению CO₂;
- потребности в воздухе.

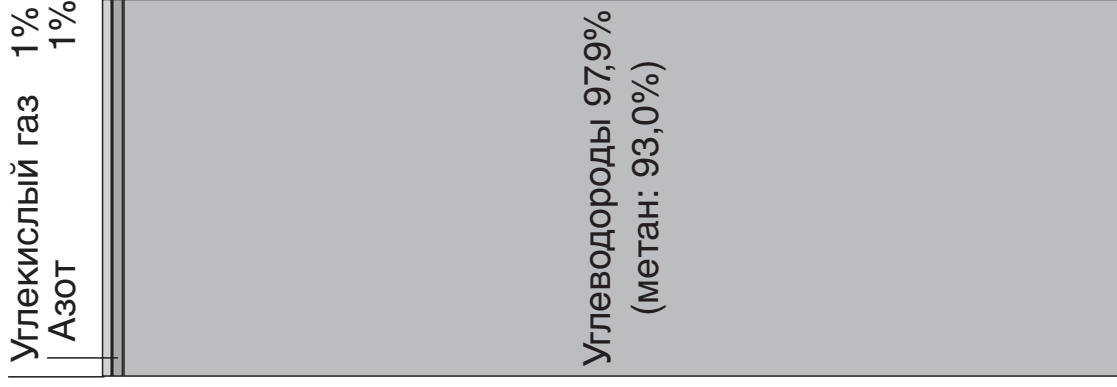
Виды и состав газа



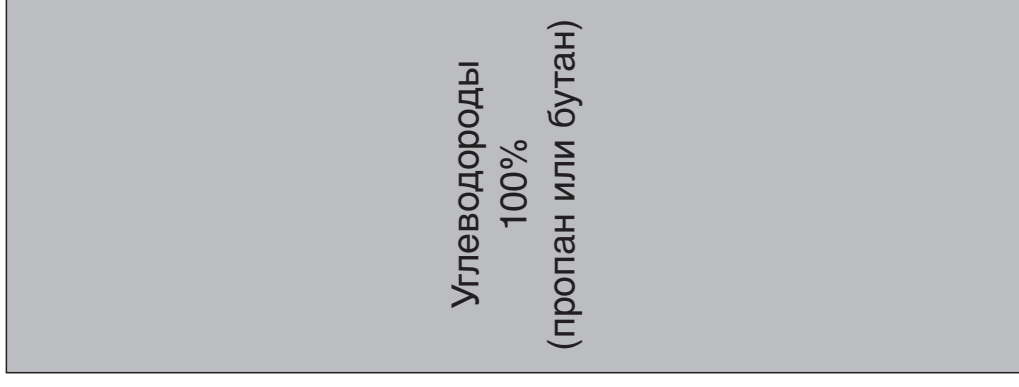
Городской газ S



Природный газ N_L



Природный газ N_H



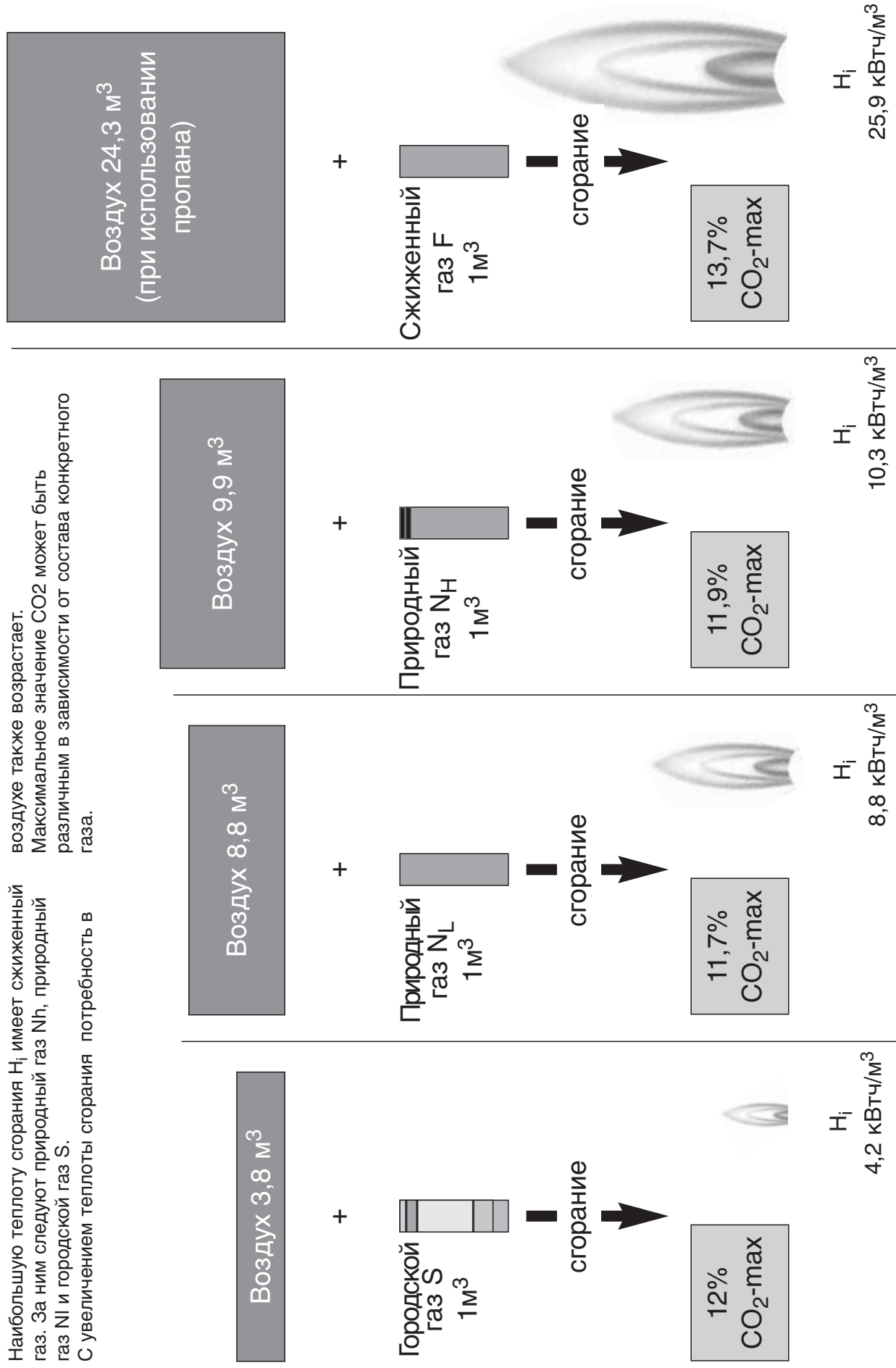
Сжиженный газ F

Теплота сгорания газа, потребность воздуха и максимальное значение CO₂

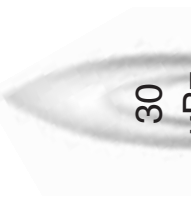





Наибольшую теплоту сгорания H_i имеет сжиженный газ. За ним следуют природный газ N_H , природный газ N_L и городской газ S .
С увеличением теплоты сгорания потребность в

воздухе также возрастает.

Максимальное значение CO₂ может быть различным в зависимости от состава конкретного газа.



Количество газа и потребность в воздухе

<p>Воздух 26,7 м³ (0,89 м³/кВтч)</p>	+	<p>Городской газ 7,1 м³/ч</p>	→	 <p>30 кВт</p>
<p>Воздух 28,6 м³ (0,95 м³/кВтч)</p>	+	<p>Природный газ N_L 3,4 м³/ч</p>	→	 <p>30 кВт</p>
<p>Воздух 28,6 м³ (0,95 м³/кВтч)</p>	+	<p>Природный газ N_H 2,9 м³/ч</p>	→	 <p>30 кВт</p>
<p>Воздух 28,2 м³ (0,94 м³/кВтч)</p>	+	<p>Пропан 1,2 м³/ч</p>	→	 <p>30 кВт</p>
<p>Воздух 28,2 м³ (0,94 м³/кВтч)</p>	+	<p>Бутан 0,9 м³/ч</p>	→	 <p>30 кВт</p>
<p>Воздух 28,3 м³ (0,94 м³/кВтч)</p>	+	<p>Жидкое топливо 3,0 л/ч</p>	→	 <p>30 кВт</p>

Количество газа, необходимое для достижения определенной тепловой мощности, уменьшается с увеличением его теплоты сгорания.

Для достижения одной и той же тепловой мощности расход затрачиваемого воздуха будет примерно равным. Данные, приведенные в скобках, определяют специфическую потребность в воздухе (м³ воздуха/кВтч).

Указанные величины относятся к нормальным условиям (0°C и 1013 мбар) и рассматриваются только как примеры для того, чтобы представить разницу между различными видами газа!

Характеристики некоторых видов газа

Вид газа	Природный газ L	Природный газ H	Пропан	Бутан	Пропан/Бутан 70/30	Газ, выделяющийся в процессе очистки сточных вод	Жидкое топливо EL
Теплота сгорания	8,83	10,35	25,89	34,29	27,96	6,38	11,90 кВтч/кг
Потребность в воздухе	8,45	9,91	24,37	32,37	26,32	6,12	11,22 м ³ /кг
Специфическая потребность в воздухе	0,957	0,957	0,941	0,941	0,941	0,959	0,943 м ³ /кВтч
Объемы дымовых газов							
Влажные	9,37	10,82	26,16	34,66	28,23	7,05	11,86 м ³ /кг
Сухие	7,72	8,90	22,81	29,74	24,12	5,84	10,46 м ³ /кг
Специфические объемы дымовых газов							
Влажные	1,06	1,05	1,01	1,01	1,01	1,10	1,00 м ³ /кВтч
Сухие	0,87	0,86	0,88	0,87	0,86	0,91	0,879 м ³ /кВтч
Максимальное количество CO ₂ в дымовых газах	11,65	11,92	13,70	14,00	13,74	16,85	15,31