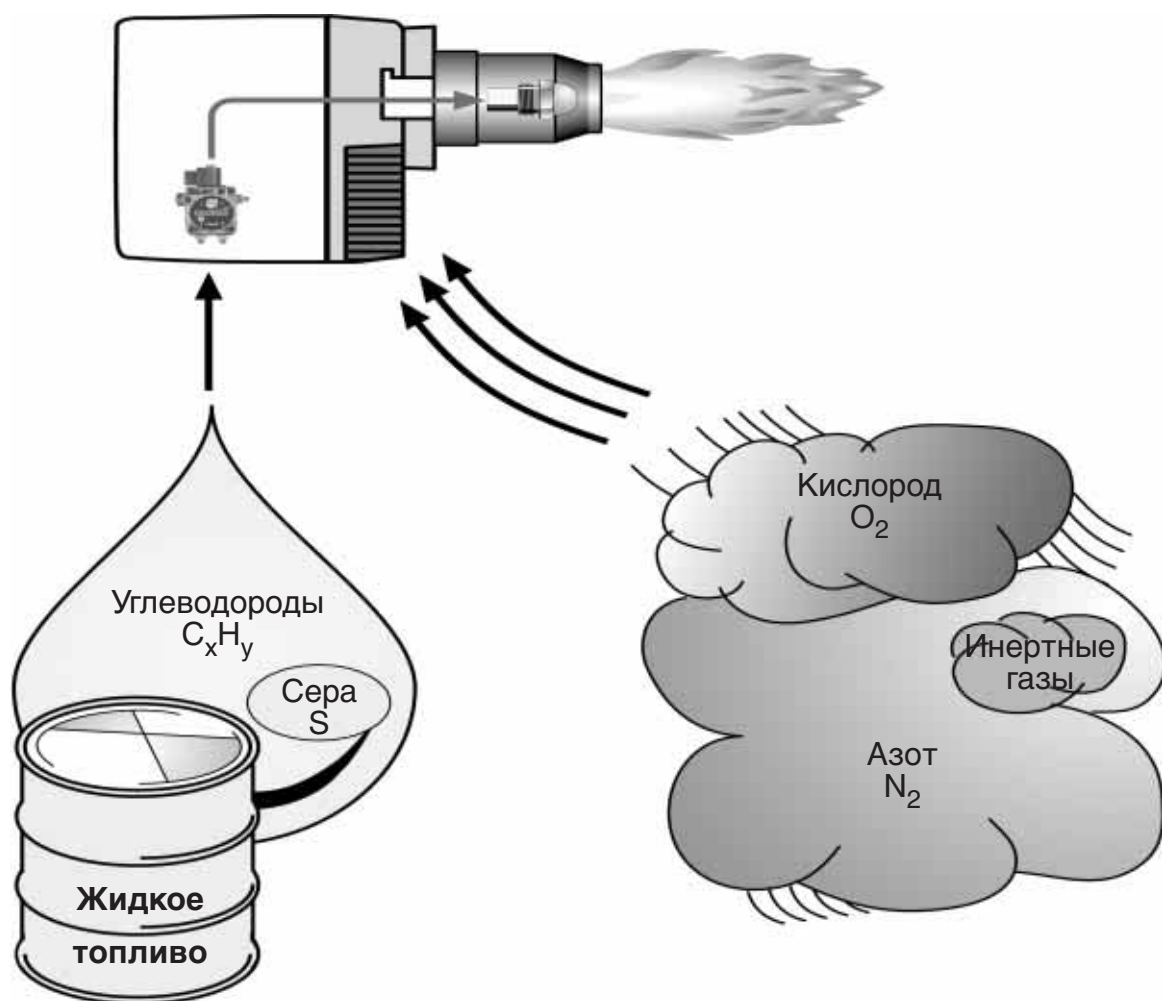


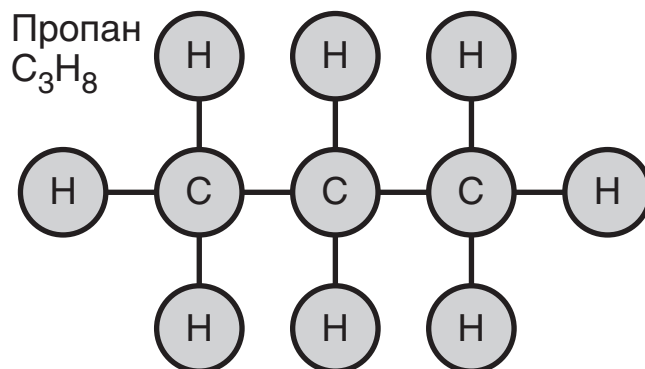
## ОСНОВЫ СЖИГАНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Воздушно-топливная смесь	2
Полное сгорание топлива	3
Сгорание топлива при недостатке воздуха	4
Сгорание топлива при избытке воздуха	5
Избыток воздуха и остаточное содержание кислорода	6
Взаимосвязь между сажей и кислородом ( $O_2$ )	7
Технический КПД сгорания топлива	8
Температура дымовых газов и КПД	9
Количество воздуха и процент содержания сажи	10

## Воздушно-топливная смесь



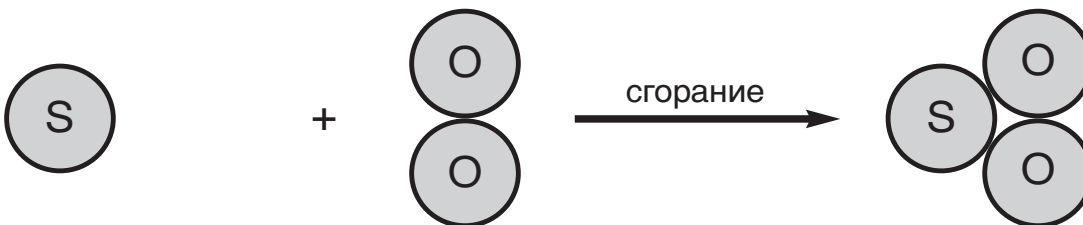
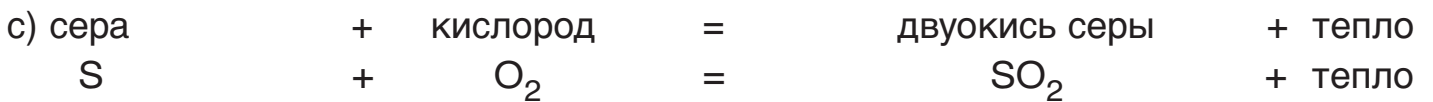
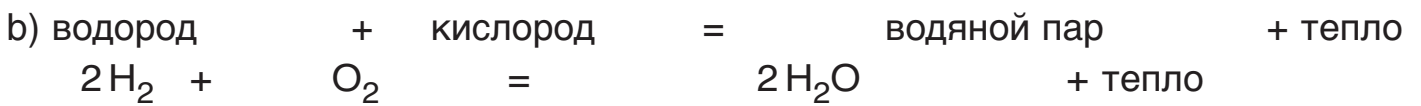
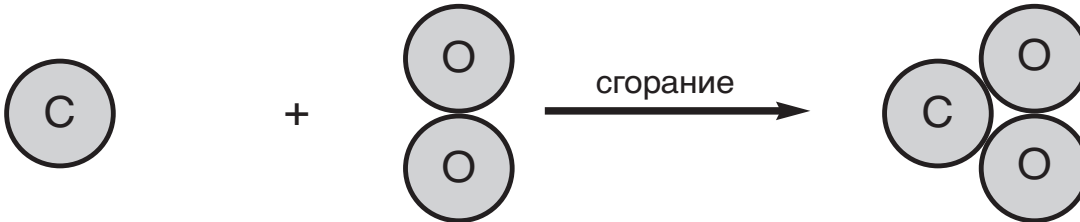
Пример углеводородного соединения



Под жидким топливом понимается смесь нескольких различных химических веществ. В основном такое топливо состоит из жидких углеводородных соединений и серы.

Эти соединения являются горючими. Жидкое топливо способно гореть только при наличии воздуха, который также является смесью нескольких химических веществ.

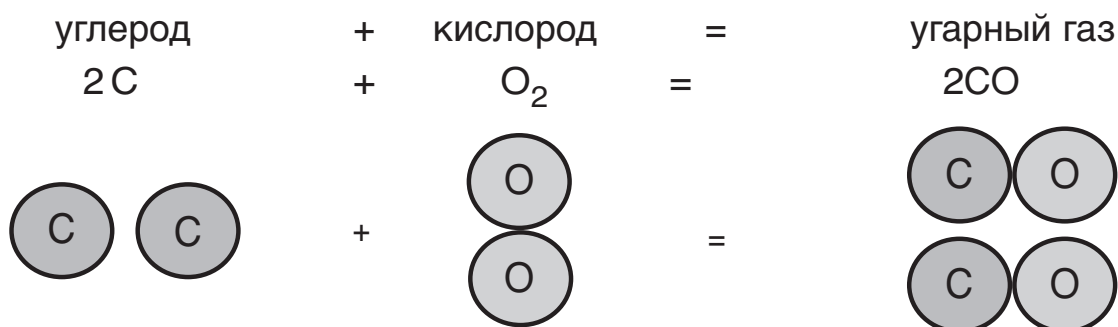
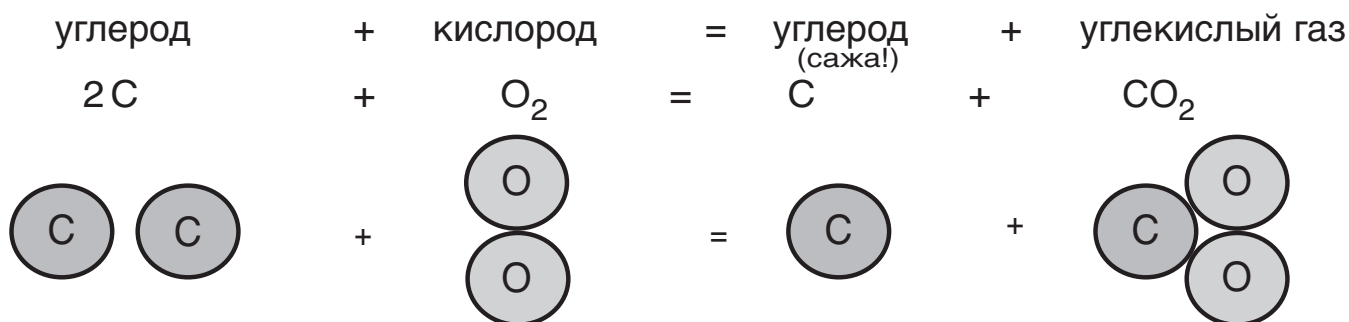
## Полное сгорание топлива



Сгорание жидкого топлива при смешивании с воздухом означает, что горючие составляющие жидкого топлива реагируют с кислородом воздуха.

При полном сгорании в результате реакции образуются три новых химических соединения.

## Сгорание топлива при недостатке воздуха



Даже если при горении топлива воздуха слишком мало, водород и сера сгорают полностью. Вследствии этого остается недостаточно кислорода для сгорания углерода. Поэтому после сгорания остается избыток углерода

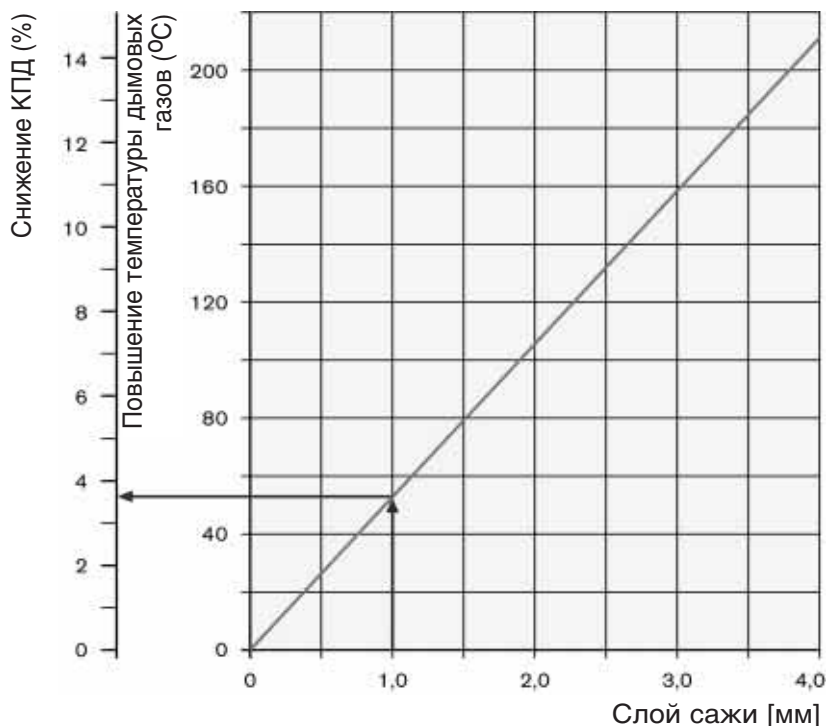
в виде сажи. А также, образуется некоторое количество угарного газа. Таким образом при сгорании жидкого топлива в условиях недостатка воздуха в отходящих газах образуются вредные вещества (сажа и угарный газ).

## Влияние толщины слоя сажи на КПД

Образующийся слой сажи откладывается на поверхностях нагрева котла и ухудшает тем самым теплопередачу.

Следствием этого является повышение температуры дымовых газов и снижение КПД.

Пример (см. рис.):  
 При слое сажи в 1 мм температура отходящих газов повышается на 53°C, а КПД падает на 3,6%.



## Сгорание топлива при избытке воздуха

Влияние внешних факторов на сгорание топлива



Теоретический объем воздуха, необходимый для качественного полного сгорания определенного количества жидкого топлива, может быть рассчитан.

Под воздействием внешних условий (температура, давление воздуха, давление в камере сгорания и пр.) количество поступающего воздуха может меняться. В следствие этого при сгорании образуются вредные вещества.

## Превышение необходимого количества воздуха

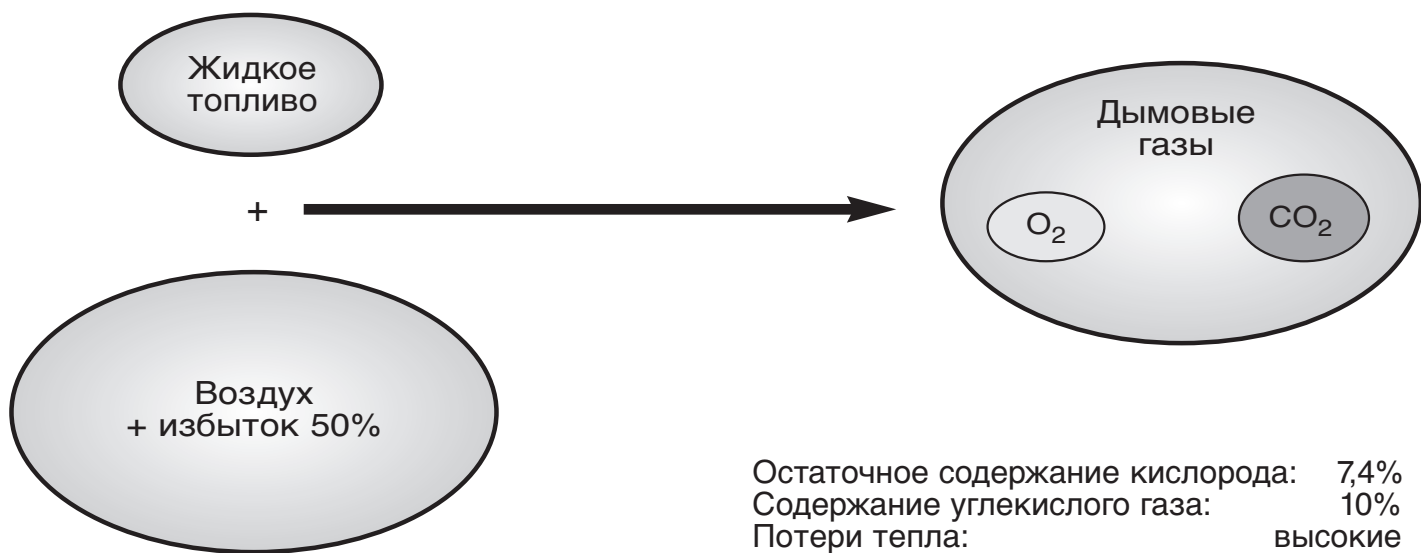


Для избежания недостатка воздуха по причине воздействия условий окружающей среды сгорание должно происходить с избытком воздуха. Рекомендуемый избыток воздуха составляет 15-20%

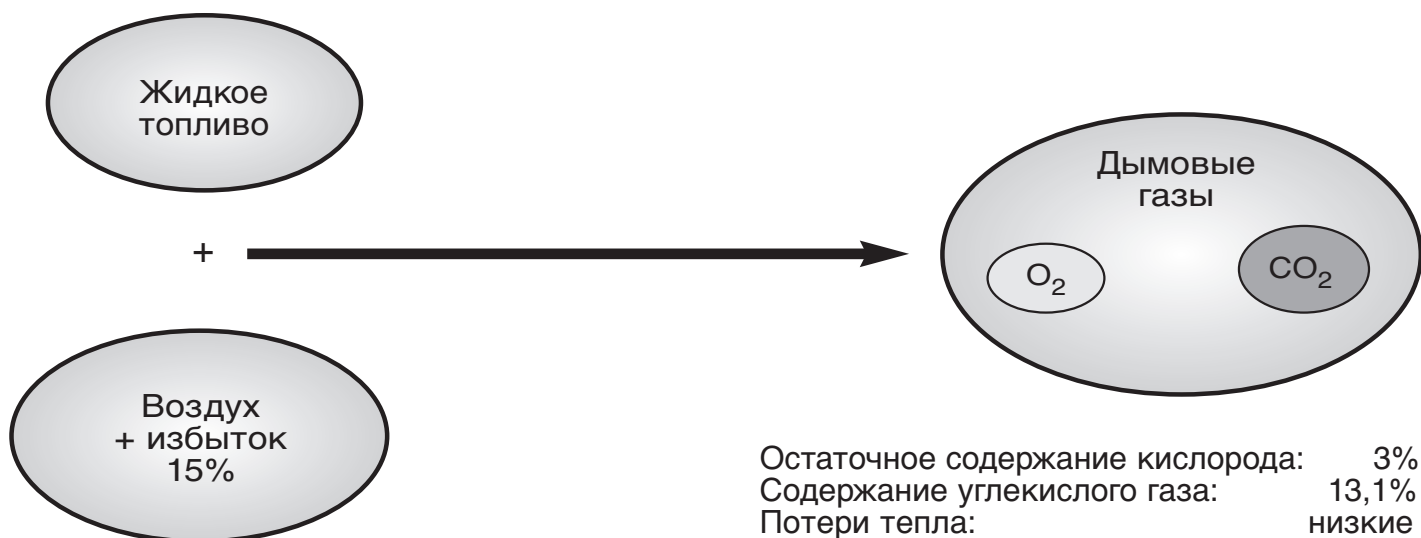
(точное значение определяется при настройке горелки). Однако сгорание топлива при избытке воздуха характеризуется дополнительной потерей тепла.

## Избыток воздуха и остаточное содержание кислорода

Сгорание при избытке воздуха 50%






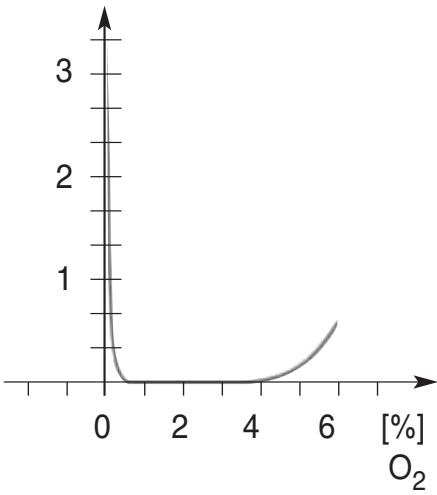
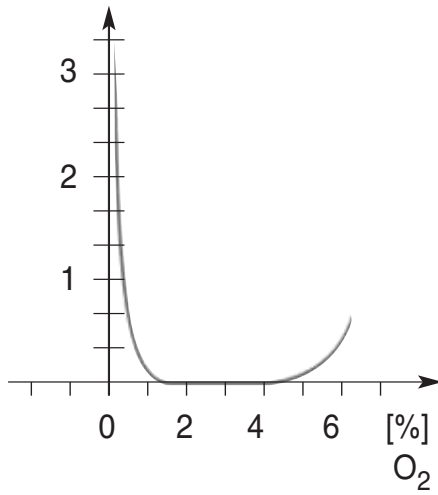
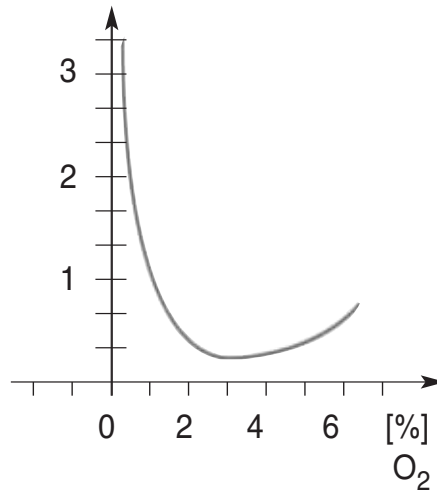
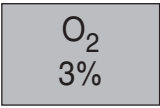
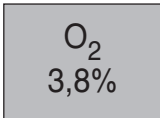
Сгорание при избытке воздуха 15%



Для того чтобы сгорание не происходило в условиях недостатка воздуха, необходим соответствующий избыток воздуха. Но этот избыток воздуха должен быть по возможности минимальным, чтобы не происходили потери тепла на его подогрев.

Рекомендуется устанавливать избыток воздуха в диапазоне 15-20% от определенного теоретически. Доля остаточного содержания кислорода в дымовых газах при 15% избытка воздуха составляет около 3%.

## Взаимосвязь между сажей и кислородом (O<sub>2</sub>)

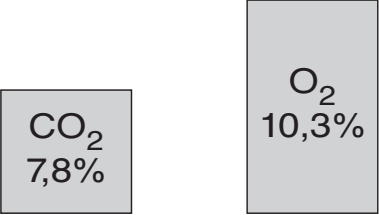
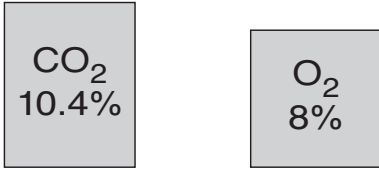
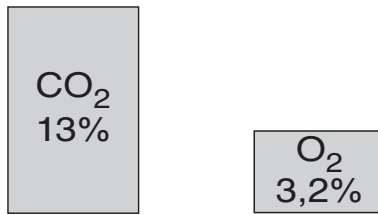
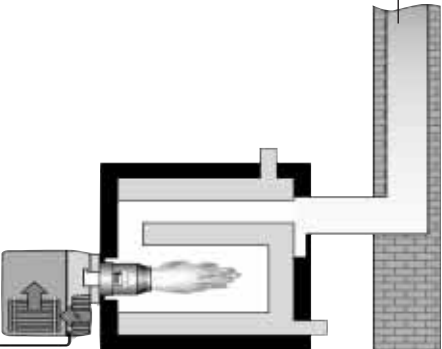
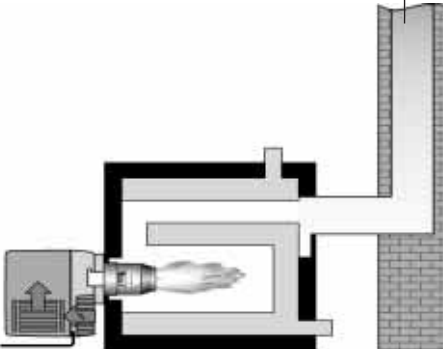
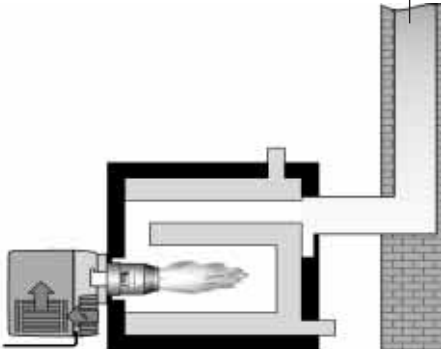
<p>1. Оптимальные условия сгорания</p>	<p>2. Хорошие условия сгорания</p>	<p>3. Плохие условия сгорания</p>
<p>Измерение (теоретическое)</p> <p>O<sub>2</sub> Сажа = 0 0%</p> 	<p>Измерение (теоретическое)</p> <p>O<sub>2</sub> Сажа &lt; 1 1,1%</p> 	<p>Измерение (теоретическое)</p> <p>O<sub>2</sub> Сажа &gt; 1 2%</p> 
<p>Сажа</p> 	<p>Сажа</p> 	<p>Сажа</p> 
<p>Настройка</p>  <p>Сажа &lt;&lt; 1</p>	<p>Настройка</p>  <p>Сажа &lt; 1</p>	<p>Перенастройка горелки</p>

Содержание сажи определяется визуально по сравнительной шкале (0 - наименьшее содержание сажи)

При идеальных условиях работы горелки и котла горение может происходить без образования сажи. При содержании O<sub>2</sub>=0 содержание сажи и СО резко увеличиваются. При значительном содержании O<sub>2</sub> содержание

сажи также увеличивается. В исключительных случаях по различным причинам может иметь место ситуация, когда при изменении избытка воздуха количество сажи не меняется.

## Технический КПД сгорания топлива

1. Настройка количества поступающего воздуха	2. Изменении настройки (снижение избытка воздуха)	3. Дальнейшее изменение настройки поступающего воздуха (дальнейшее снижение избытка воздуха)
<p>Измерение</p> 	<p>Измерение</p> 	<p>Измерение</p> 
<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

Небольшое остаточное содержание кислорода в дымовых газах означает низкие потери тепла и высокий КПД.

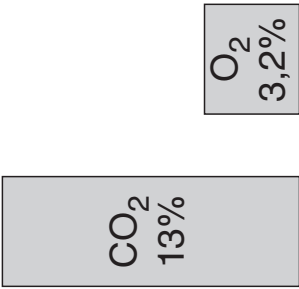
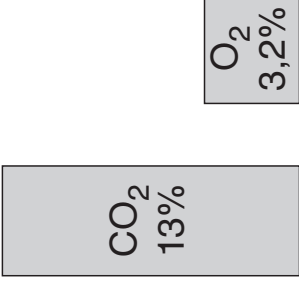
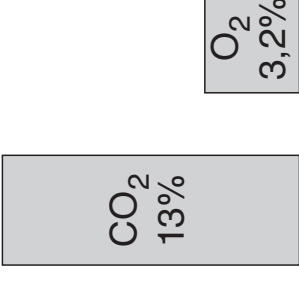
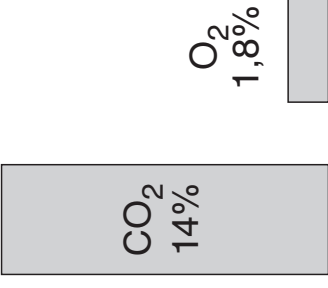
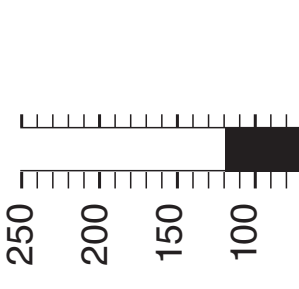
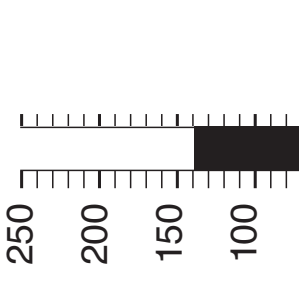
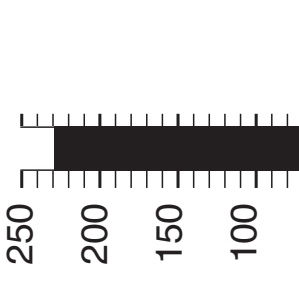
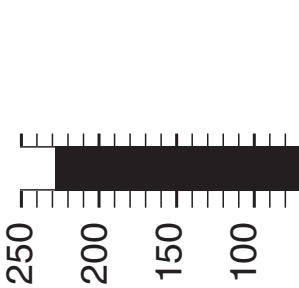
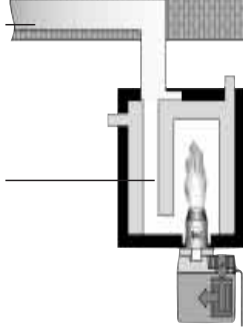
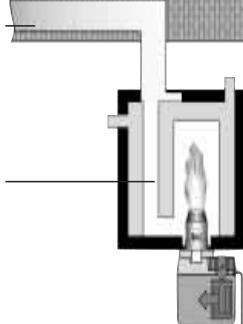
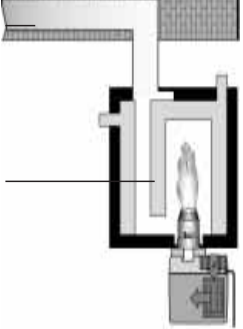
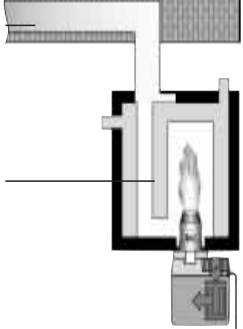
Необходимо настраивать количество воздуха таким образом, чтобы КПД было наибольшим. Рассматриваемый здесь КПД является техническим КПД сгорания.



# Температура дымовых газов и КПД

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

$t_{в}$  - температура воздуха, К

Избыток воздуха				
Температура дымовых газов $t_{дг} - t_{в}$	 <p><math>t_{дг} - t_{в} = 120 \text{ K}</math></p>	 <p><math>t_{дг} - t_{в} = 140 \text{ K}</math></p>	 <p><math>t_{дг} - t_{в} = 230 \text{ K}</math></p>	 <p><math>t_{дг} - t_{в} = 230 \text{ K}</math></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  $\text{CO}_2$

или  $\text{O}_2$  остается неизменным).

Температура отходящих дымовых газов определяется конструкцией и техническими

данными тепловой установки и не подлежит изменению при настройке количества газа и воздуха

## Количество воздуха и процент содержания сажи

		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO<sub>2</sub> 7,8%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O<sub>2</sub> 10,3%</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO<sub>2</sub> 13%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O<sub>2</sub> 3,2%</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO<sub>2</sub> 14%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O<sub>2</sub> 1,8%</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO<sub>2</sub> 15%</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O<sub>2</sub> 0,5%</div> </div>
Содержание сажи					
КПД	90%	93,6%	94%	94,2%	94,2%
Примечания	Низкий КПД	Оптимальная настройка (высокий КПД, отсутствие сажи)	Малый избыток воздуха	Малый избыток воздуха	Малый избыток воздуха Высокое содержание сажи

Необходимо обеспечивать минимальное образование сажи при горении. Для жидкотопливных горелок число сажи не

должно превышать 1. В соответствии с этими требованиями необходимо настроить горелку таким

образом, чтобы избыток воздуха был на минимальном уровне, при котором значение сажи равны от 0 до 1