

## *РАЗДЕЛ 3*

# *ТОПЛИВО И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ*

## **1.1 ТОПЛИВО**

*Топливо – это вещества, обладающие внутренней потенциальной энергией, которые экономически целесообразно использовать*

*для получения теплоты.*



## *ТРЕБОВАНИЯ К ТОПЛИВУ*

- ▶ *доступность для добычи;*
- ▶ *запасы для добычи на многие годы;*
- ▶ *добыча и использование должны быть безопасны.*

# **РАЗЛИЧАЮТ ТОПЛИВО ХИМИЧЕСКОЕ И ЯДЕРНОЕ**

**ХИМИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО** - это органические горючие вещества, в результате окисления которых выделяется внутренняя энергия атомов и молекул.

# *ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО*

*Ядерное топливо выделяет энергию при превращении двух видов:*

- ▶ при делении атомных ядер наиболее тяжелых элементов;*
- ▶ при синтезе атомных ядер наиболее легких элементов.*

# *КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВА*

*По агрегатному состоянию  
органическое топливо делится на:*

- твердое;*
- жидкое;*
- газообразное.*

# ***КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВА***

*По способу получения  
органическое топливо делится на:*

- естественное;*
- искусственное.*

*Ископаемое твердое топливо  
(за исключением сланцев)  
является  
продуктом разложения  
органической массы растений*



# ВИДЫ ИСКОПАЕМОГО ТВЁРДОГО ТОПЛИВА

*Торф* - перегнившие остатки болотных растений.

*Бурые угли* – землистая масса, которая при длительном хранении на воздухе окисляется и рассыпается в порошок.

*Каменные угли* - обладают повышенной прочностью. Наиболее старый – *антрацит* – на 93 % состоит из углерода.

*Древесина* – местное топливо.

# *ГОРЮЧИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОПЛИВА*

- ▶ *углерод - C;*
- ▶ *водород - H;*
- ▶ *сера - S.*

# ***ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА***

*В среднем на одного человека на земле расходуется около 5 кг у.т. / сутки.*

*В промышленно развитых странах – около 30 кг у.т. / сутки.*

*Общее потребление топлива в мире – около 12 млрд. тонн у.т. в год.*

# ***ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА***

Горючие ископаемые	Млрд. т у.т.	%
Твердое топливо	<i><b>3,96</b></i>	<i><b>34,2</b></i>
Нефть	<i><b>4,99</b></i>	<i><b>43,2</b></i>
Природный газ	<i><b>2,48</b></i>	<i><b>21,5</b></i>
Нетрадиционный газ	<i><b>0,04</b></i>	<i><b>0,4</b></i>
Горючие сланцы	<i><b>0,08</b></i>	<i><b>0,7</b></i>
<b>ИТОГО</b>	<i><b>11,55</b></i>	<i><b>100</b></i>

# РАЗВЕДАННЫЕ ЗАПАСЫ ТОПЛИВА

Горючие ископаемые	Млрд. т у.т.	%	Запас лет
Твердое топливо	<b>1280</b>	<b>62,3</b>	<b>323</b>
Нефть	<b>380</b>	<b>18,5</b>	<b>260</b>
Природный газ	<b>110</b>	<b>5,3</b>	<b>44</b>
Нетрадиционный газ	<b>25</b>	<b>1,2</b>	<b>625</b>
Горючие сланцы	<b>260</b>	<b>12,7</b>	<b>3250</b>
ИТОГО	<b>2055</b>	<b>100</b>	

# ***ЭНЕРГОРЕСУРСЫ УКРАИНЫ***

*Собственного топлива Украина добывает около 94 млн т у.т. /год.*

*Потребность - 300 млн т у.т./год.*

# ***ПОТРЕБНОСТЬ В ИМПОРТНОМ ТОПЛИВЕ***

*Украине необходимо около 206 млн  
т у.т., в том числе:*

- природного газа – 138 млн т у.т.  
(120 млрд. м<sup>3</sup>),*
- нефти - 68 млн т у.т.  
(50 млн. т).*

# **СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В УКРАИНЕ**

- ▶ природный газ – 43 %;
- ▶ нефть – 18 %;  
(газ + нефть – 61 %);
- ▶ уголь – 23 %;
- ▶ атомная энергия – 16 %.



## ***МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЯ В УКРАИНЕ:***

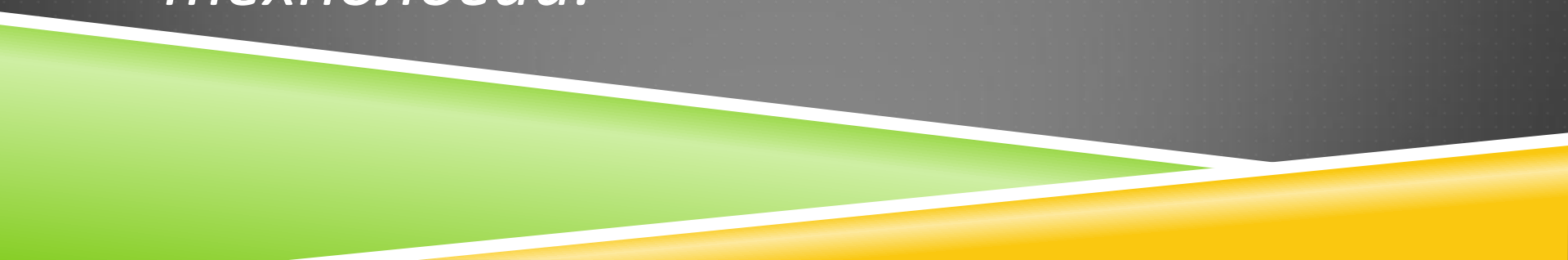
- ▶ Донецкий угольный бассейн Луганской области (уголь всех марок).
- ▶ Львовско-Волынский угольный бассейн (уголь марки Г).

## **МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА:**

- ▶ Дашавское;
- ▶ Шебелинское;
- ▶ Гоголево.

*Планируется за счет шельфа  
Черного и Азовского моря увеличить  
добычу нефти и газа.*

# **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ:**

- ▶ *наращивание добычи угля для замещения им нефти и природного газа;*
  - ▶ *использование энергосберегающих, энергоэффективных производств и технологий.*
- 

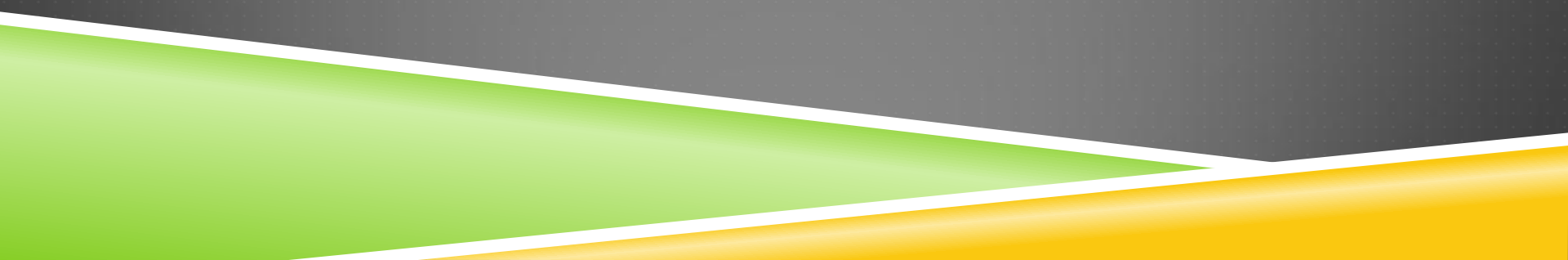
# ***ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДЛЯ УКРАИНЫ:***

- ▶ *безопасность действующих атомных блоков и получение собственного ядерного топлива;*
- ▶ *поиск и производство новых видов топлива из растительного сырья, технических спиртов и т.п.*

## **1.2 СОСТАВ ТОПЛИВА**

*У твердых и жидких видов топлива органическая часть состоит из сложных химических соединений, образованных пятью химическими элементами:*

***углерод (C), водород (H), сера(S),  
кислород (O), азот (N).***



# СОСТАВ ТОПЛИВА

Топливо так же содержит влагу ( $W$ ) и минеральные примеси, которые при сжигании превращаются в золу ( $A$ ).

Поэтому для упрощения химический состав выражается содержанием элементов в %, т.е. по элементному составу топлива.

# *ГОРЮЧИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОПЛИВА - УГЛЕРОД, ВОДОРОД И СЕРА*

## *➤ Углерод*

- основной горючий элемент топлива, имеет высокую теплоту сгорания (34,4 МДж/кг) и составляет основу горючей массы топлива (от 40 % у древесины до 93 % у антрацита).

## ➤ Водород

имеет высокую теплоту сгорания (120,5 МДж/кг), содержание: 2...4% в твердом и 10...11% в жидком топливе.

## ➤ Сера

имеет теплоту сгорания 9,3 МДж/кг. Содержание в топливе - 0,3...0,5 %, поэтому не представляет ценности как горючий элемент.



# ПРИСУТСТВИЕ СЕРЫ В ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ:

- в органическом виде  $S_{op}$ ;
- в составе горючих минеральных веществ  $S_n$  (пиритная или колчеданная сера  $FeS_2$ ,  $CuS$ );
- в составе негорючих минеральных веществ  $S_{сфт}$  (сульфатная сера  $CaSO_4$ ,  $MgSO_4$ ).

# ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

*Рабочее состояние (рабочая масса) – это состояние топлива с таким содержанием влаги и зольностью, с которым оно добывается, отгружается или используется (верхний индекс -  $p$  или международный -  $r$ ):*

$$C^p + H^p + S^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100 \%$$

# ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

**Аналитическое состояние** – состояние топлива, характеризуемое подготовкой пробы (размолотом до размеров частиц 0,2 мм и уменьшением содержания влаги  $W^a < W^p$ ):

$$C^a + H^a + S^a + O^a + N^a + A^a + W^a = 100 \%$$

*Общая, рабочая влага  $W^p$   
складывается из аналитической  
влаги  $W^a$  и внешней влаги  $W^{вн}$ :*

$$W^p = W^a + W^{вн}.$$

$$\begin{array}{l} C^c + H^c + S^c + O^c + N^c + A^c = 100\% \\ C^c + H^c + S^c + O^c + N^c + A^c = 100\% \end{array}$$

# ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

**Сухое состояние топлива** – состояние топлива без содержания общей влаги (сухая масса топлива), верхний индекс - *c* или - *d* от английского *dry*:

$$C^c + H^c + S^c + O^c + N^c + A^c = 100\%$$

# ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

*Горючее или сухое беззольное состояние (верхний индекс - г или **daf** – от англ. **dry ash-free** – сухое, свободное от золы) – условное состояние топлива, не содержащего общей влаги и золы (горючая масса топлива):*

$$C^g + H^g + S^g + O^g + N^g = 100 \%$$

# ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

*Органическое состояние топлива  
(верхний индекс - o) – условное состояние  
топлива без содержания влаги и  
минеральной массы - органическая масса  
топлива:*

$$C^o + H^o + S_{op}^o + O^o + N^o = 100\% .$$

# СХЕМА СОСТОЯНИЙ ТОПЛИВА

$W_{вн}$	$W_a$	$C$	$H$	$O$	$N$	$S_{ор}$	$S_{п}$	$S_{сфт}$	$A$
		Органическое состояние (o)							
		Горючее состояние (г)							
		Сухое состояние топлива (с)							
	Аналитическое состояние топлива (а)								
Рабочее состояние топлива (р)									




# КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

Исходное, заданное состояние топлива	Искомое состояние топлива		
	Рабочее	Сухое	Горючее
Рабочее	1	$\frac{100}{100 - W^P}$	$\frac{100}{100 - W^P - A^P}$
Сухое	$\frac{100 - W^P}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горючее	$\frac{100 - W^P - A^P}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

# ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО

*Газообразное топливо - это механическая смесь газов горючих и негорючих.*

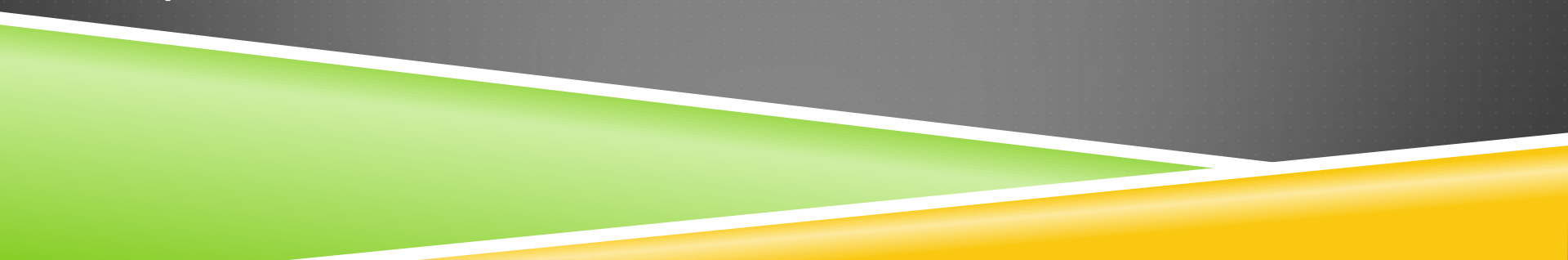
*Состав газообразного топлива задается в объемных процентах отдельных газов к объему сухого газа при нормальных условиях.*



# *ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА*

*Теплота сгорания - это количество тепловой энергии, выделяющейся в ходе окисления горючих элементов топлива кислородом.*

*Теплота сгорания топлива характеризует его энергетическую ценность.*

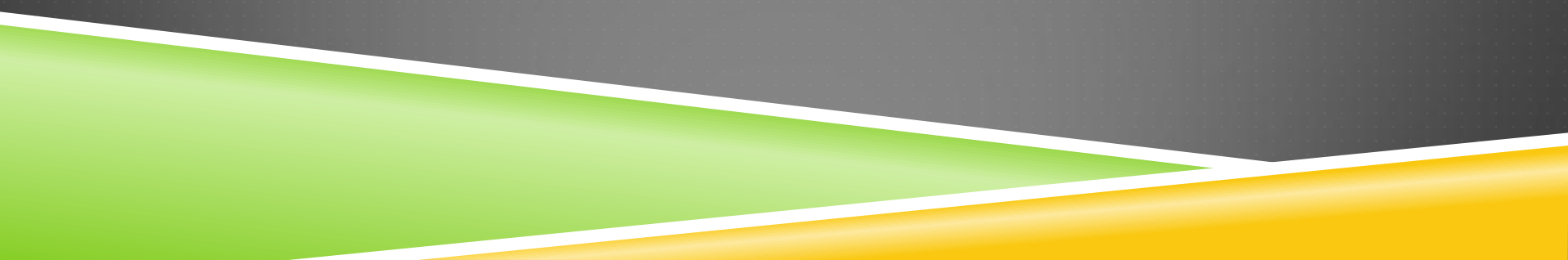


# **ВЫСШАЯ И НИЗШАЯ ТЕПЛОТУ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА**

**Высшая теплота сгорания  $Q_v$  -**  
количество теплоты, выделяющееся  
при полном сгорании 1 кг твердого или  
жидкого топлива (или 1 м<sup>3</sup>  
газообразного) при условии конденсации  
паров воды и охлаждении всех продуктов  
сгорания до температуры 0 °C.

*Низшая теплота сгорания  $Q_H$  отличается от высшей на величину теплоты конденсации влаги топлива и влаги, образующейся при горении водорода.*

*В Украине базовой характеристикой топлива является **низшая теплота сгорания  $Q_H$** .*



# КОЛИЧЕСТВО ВОДЯНОГО ПАРА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ

Это сумма влаги, содержащейся в 1 кг исходного топлива  $W^p/100$  (кг) и влаги, образовавшейся при окислении водорода топлива  $9H^p/100$  (кг).

Согласно реакции окисления водорода из 1 кг водорода образуется 9 кг влаги



# ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЫСШЕЙ И НИЗШЕЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ

Удельная теплота конденсации водяного пара в нормальных физических условиях составляет 2500 кДж/кг. Теплота конденсации всех паров воды, образовавшихся из 1 кг топлива будет равна, кДж/кг:

$$Q_w = 2500 \cdot \left( \frac{W^p}{100} + \frac{9H^p}{100} \right) = 25 \cdot (W^p + 9H^p)$$

Тогда взаимосвязь высшей и низшей теплоты сгорания имеет вид:

$$Q_H^p = Q_B^p - 25(W^p + 9H^p)$$

# ФОРМУЛА Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Применяется для определения удельной теплоты сгорания твердых и жидких топлив, кДж/кг:

$$Q_H^P = 339C^P + 1030H^P - 109(O^P - S^P) - 25W^P$$

где  $C$ ,  $H$ ,  $S$ ,  $O$  и  $W$  - содержание элементов и влаги в процентах.



# ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

Для газообразных топлив (при известном составе) теплота сгорания  $1\text{ м}^3$  сухого газа определяется по следующей формуле,  $\text{МДж}/\text{м}^3$ :

$$Q_1^c = 0,01 \cdot [10,8\text{H}_2 + 12,65\text{CO} + 35,85\text{CH}_4 + 63,8\text{C}_2\text{H}_6 + 91,3\text{C}_3\text{H}_8 + \dots + 23,4\text{H}_2\text{S}]$$

где  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  и т.д. – содержание газовых компонентов в процентах, а коэффициенты перед ними – теплота сгорания каждого газа в  $\text{МДж}/\text{м}^3$ .

## УСЛОВНОЕ ТОПЛИВО

Для сравнения экономичности работы оборудования на различных видах топлива введено понятие «условное топливо», для которого принята теплота сгорания

$$Q_{yt} = 29,35 \text{ МДж/кг}$$
$$(Q_{yt} = 7000 \text{ ккал/кг}).$$

# ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ ТОПОЧНОГО УСТРОЙСТВА

*Тепловая мощность  $N$  топочного устройства котла или печи связана с расходом топлива  $B$  и теплотой сгорания топлива  $Q$  очевидным соотношением,  $МВт$*

$$N = BQ_{\text{H}}^{\text{p}} .$$

# СООТНОШЕНИЕ РАСХОДОВ УСЛОВНОГО И НАТУРАЛЬНОГО ТОПЛИВ

Расход условного топлива  $B_{yt}$  связан с расходом натурального топлива  $B$  при условии  $N_{yt} = N$  соотношением

$$B_{yt} = \frac{BQ_{\text{н}}^p}{Q_{yt}}$$

или, МДж/кг:

$$B_{yt} = \frac{BQ_{\text{н}}^p}{29,35}$$

## **1.3 ВЛАГА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

*В твердом топливе влага находится в виде капель и пленок воды, капиллярной влаги и адсорбированных молекул  $H_2O$  на поверхности кусков топлива. Влага также может входить в состав минеральных соединений.*

*Влага является балластом –  
нежелательным компонентом топлива.*



## **ВИДЫ ВЛАГИ**

- ▶ **Гидратная влага** – вода, входящая в состав минеральных примесей топлива:

силикатов ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )  
и сульфатов ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Доля гидратной влаги - несколько процентов. Удаление ее происходит при высоких температурах.

► *Сорбционная влага включает в себя адсорбционную влагу на поверхности раздела фаз и коллоидную влагу, входящую в органическое топливо.*

*Содержание ее зависит от температуры и влажности воздуха.*

- ▶ **Капиллярная влага** заполняет поры. Поры с диаметром более  $10^{-5}$  мм заполняются при контакте с водой, а в порах меньшего размера возможна конденсация влаги из воздуха.
- ▶ **Поверхностная влага** располагается снаружи частиц топлива. Зависит от начальной влажности топлива, температуры и влажности воздуха.



# ОБЩАЯ ВЛАГА УГЛЯ

*Общую влагу* угля подразделяют на:

- внешнюю влагу и*
- влагу воздушно-сухого топлива.*

*Общую влагу  $W_{об}$  рассчитывают как сумму внешней влаги  $W_{вн}$  и влаги воздушно-сухого топлива  $W_h$ .*

- *Определение внешней влаги  $W_{\text{вн}}$  —*  
проводят сушкой навески угля до  
постоянной массы при комнатной  
температуре или в сушильных  
шкафах:
  - бурых углей - при  $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
  - каменных углей и  
горючих сланцев - при  $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- ▶ *Определение влаги воздушно-сухого топлива*  
 $W_h$  – проводится из пробы в воздушно-сухом состоянии и измельченной до размеров менее 3 мм высушиванием при 105...110 °С в течение 3...4 часов.

Либо ускоренным методом высушивания при температуре  $(160 \pm 5)^\circ\text{C}$  за 5...10 минут.

- ▶ При расчете *внешней влаги*  $W_{\text{вн}}$  убыль массы относят к навеске исходного топлива, а при расчете *влаги воздушно-сухого топлива*  $W_h$  – к навеске воздушно-сухого топлива.

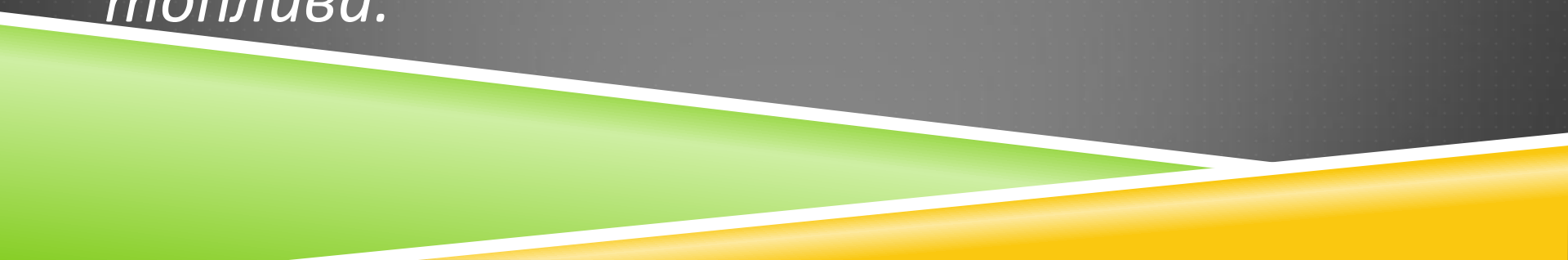
**ПЕРЕСЧЕТ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ  
ВОЗДУШНО-СУХОГО ТОПЛИВА НА  
СОДЕРЖАНИЕ ВЛАГИ В ИСХОДНОМ УГЛЕ**

$$W_{\text{ос}} = W_{\text{вн}} + W_{\text{л}} \frac{100 - W_{\text{вн}}}{100}$$

*Наличие влаги в топливе снижает теплоту сгорания, увеличивает объем продуктов сгорания, что приводит к снижению КПД топочных устройств.*

*Увеличение влажности ведет к снижению подвижности частиц топлива вплоть до полной потери сыпучести.*

*Влага сыпучести – это влага, при которой полностью теряется сыпучесть топлива.*



# ***СПОСОБЫ БОРЬБЫ СО СМЕРЗАНИЕМ ТОПЛИВА***

- ▶ обезвоживание путем отстаивания и нагревания;
- ▶ добавка несмерзающихся материалов;
- ▶ омасливание нефтепродуктами;
- ▶ разгрузка с применением дробления;
- ▶ обогрев бункеров и разогрев топлива в вагонах.

## **1.4 МИНЕРАЛЬНЫЕ ПРИМЕСИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

*Возникают по трем причинами:*

- ▶ *В исходном органическом материале присутствуют соли. Количество их невелико – до 0,5% сухой массы топлива. Их называют первичными примесями.*

- ▶ Минеральных веществ заносятся в залежи топлива водой, ветром и в результате деятельности бактерий. Их называют **вторичными примесями**, они вместе с первичными примесями образуют **внутренние примеси**.



- ▶ *Минералы попадают из окружающих горных пород при разработке месторождения. Вместе с примесями транспортировки и хранения эти примеси добычи образуют третичные примеси.*

# ГЛАВНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА – ИСТОЧНИКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ

- ▶ алюмосиликаты ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) - *глина*,
- ▶ кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ) - *песок*,
- ▶ карбонаты ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{FeCO}_3$ ),
- ▶ сульфиды ( $\text{FeS}_2$ ,  $\text{CaS}$ ),
- ▶ сульфаты ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ),
- ▶ соли щелочных металлов ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ).

*Среди химических реакций при горении топлива преобладают реакции разложения, поэтому **зольность топлива меньше минеральной массы.***


*Все реакции протекают в определенном интервале температур, поэтому масса и состав золы из одного угля при разных температурах будут отличаться друг от друга.*



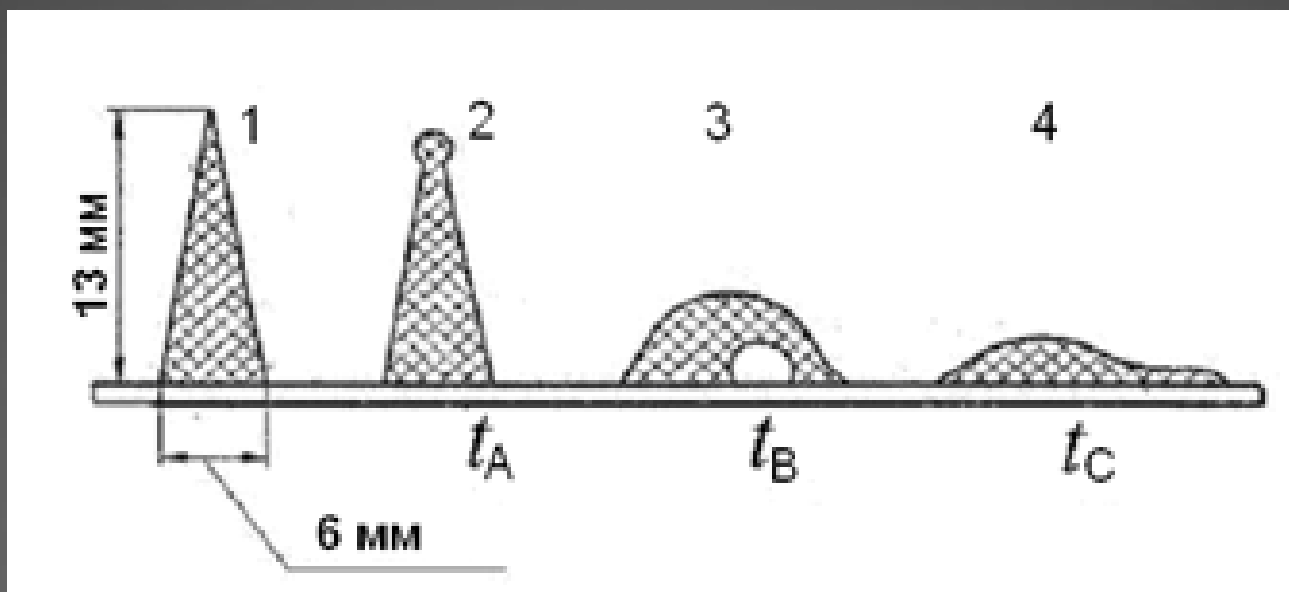
# **ЗОЛЬНОСТЬ УГЛЯ**

**Зольность угля** – масса образовавшейся золы, отнесенная к массе угля в %.

**Стандартный метод** определения зольности углей заключается в полном сжигании навески топлива, прокаливании зольного остатка до постоянной массы при температуре  $(815 \pm 15)^\circ\text{C}$  и определении массы золы.

- ▶ **Шлак** – это минеральная масса, которая за счет оплавления и спекания приобрела значительную прочность.
  - ▶ **Зола** – это порошкообразный остаток топлива.
  - ▶ **Летучая зола** – пылевидные фракции, уносимые уходящими газами.
  - ▶ **Провал** – более крупные фракции золы.
- 

# **МЕТОД КОНУСОВ ИСПОЛЬЗУЮТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАВКОСТИ ЗОЛЫ И ШЛАКА**



1 – конус до нагрева; 2 – начало деформации,  
3 – размягчение; 4 – жидкоплавкое состояние

## **ПО ХОДУ НАГРЕВАНИЯ ОБРАЗЦА ФИКСИРУЮТ :**

- ▶ **Температуру начала деформации  $t_A$**  - определяют по появлению первых признаков оплавления конуса;
- ▶ **Температуру полусферы  $t_B$**  – когда образец превращается в полусферу с высотой, равной половине основания 3мм;
- ▶ **Температуру перехода в жидкоплавкое состояние  $t_C$**  – когда образец растекается по подставке.

# **ШЛАКОВАНИЕ КОТЛА**

**Шлакование котла** – это накопление отложений. Начинается с появления **первичного слоя** за счет оксидов и хлоридов щелочных металлов ( $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $NaCl$ ,  $KCl$ ).

На поверхности первичного слоя шлака происходит рост рыхлого **вторичного слоя**, температура которого быстро увеличивается до появления жидкой фазы, что ускоряет рост толщины слоя шлака.



# **ЖИДКОЕ ШЛАКОУДАЛЕНИЕ**

*При сжигании твердого топлива в топке целесообразен перевод минеральной части топлива в расплавленное состояние и непрерывный вывод шлака через лётку в нижней части топки.*

*Такой метод удаления очаговых остатков получил название **жидкое шлакоудаление**.*

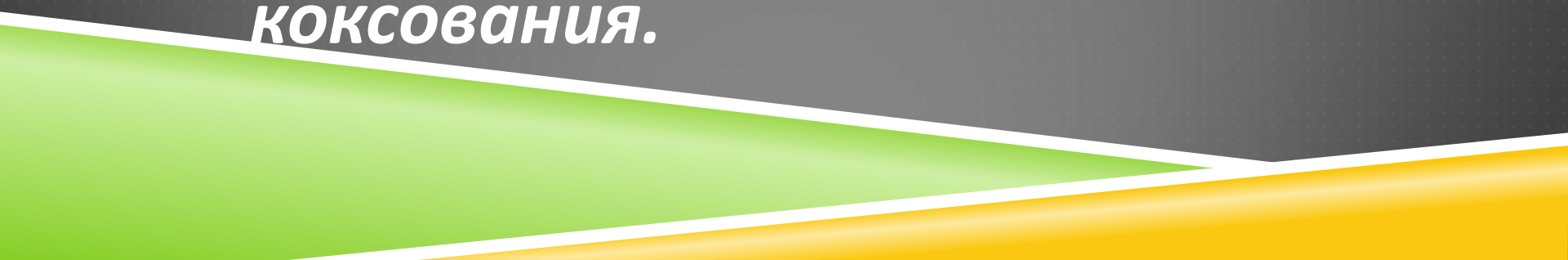
## **1.7 ВЫХОД ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОКСОВОГО ОСТАТКА**

*При нагревании твердого топлива до высоких температур без доступа воздуха происходит разложение углеводородов с образованием газообразных продуктов ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и др.), которые называются «летучие вещества».*

*Выход летучих веществ из твердого топлива происходит в интервале температур от 100 до 1100 °С.*

*После удаления летучих веществ остается твердый коксовый остаток.*

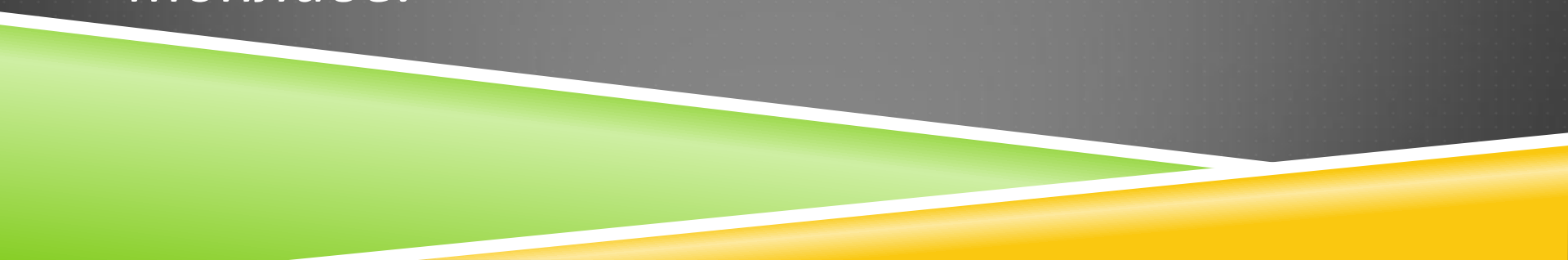
*По выходу летучих веществ каменных углей и антрацитов определяют их пригодность для коксования.*



# **СТАНДАРТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ**

*Метод заключается в нагревании навески аналитической пробы топлива массой 1 г без доступа воздуха при  $t = (850 \pm 10) ^\circ\text{C}$  в течение 7 мин.*

*Выход летучих веществ определяется в зависимости от потери массы исходной навески с учетом содержания влаги в топливе.*



# **СПЕКАЮЩИЕСЯ УГЛИ**

Спекающиеся угли служат сырьем для получения **кокса**, который применяют в качестве топлива и восстановителя в **доменном процессе** при выплавке чугуна из железной руды.

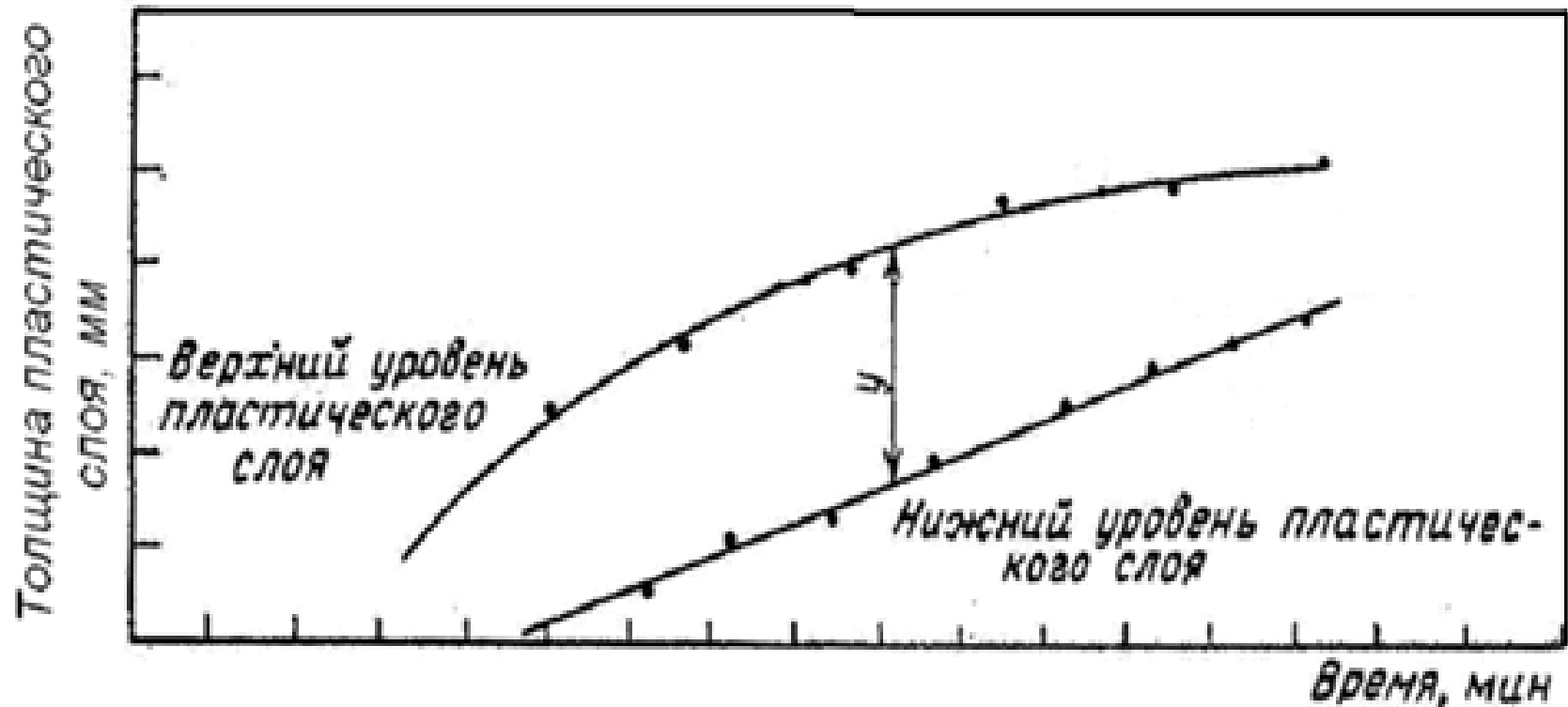
Такие угли более ценные, чем неспекающиеся, которые используются ~~только~~ как топливо.

# *ДВЕ СТАДИИ СПЕКАНИЯ УГЛЕЙ*

- ▶ *размягчение частиц угля;*
- ▶ *образование из пластической массы твердого остатка - кокса.*

*Определение пластометрических показателей углей проводят в специальном пластометрическом аппарате.*

# ГРАФИК ПЛАСТОМЕТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ



# **1.8 ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

## **Древесина**

*Характерные свойства: выход летучих  $V^p=85\%$ , влага  $W^p=40\%$ ,  $A^p=0,6\%$ ,  $Q_{pH}^p=10...12$  МДж/кг, сера практически отсутствует.*

*Древесина как топливо используется редко и в основном в виде отходов или как местное топливо.*



# Торф

Характерные свойства:  $V^s=70\%$ ,  
 $W^p=48...53\%$ ,  $Q^p_H=8,4...10,5$  МДж/кг,  
 $A^p=3...19\%$ , высокое содержание  $O_2$ .

По способу добычи различают кусковой и фрезерный торф.

**Торф** склонен к слеживанию, имеет плохую сыпучесть, повышенную взрывоопасность, высокую гигроскопичность, легко смерзается. Используется на месте добычи.

## **Горючие сланцы**

*Характерные свойства:  $V^p = 85 \dots 90 \%$ ,  
 $A^p = 35 \dots 60 \%$ ,  $W^p \leq 13 \%$ ;  $Q_{\text{H}}^p = 5,5 \dots 13,9 \text{ МДж/кг}$ ,  
сера практически отсутствует.*

*В топливном балансе страны доля  
древесины, торфа и сланцев невелика. Это  
местные виды топлива, используются вблизи  
добычи.*

***Уголь** - основное твердое топливо. Угли  
бывают бурые и каменные.*

# БУРЫЕ УГЛИ

Особенность бурых углей - большая влажность и выход летучих  $V^2 > 40 \%$ , невысокая теплота сгорания (до 24 МДж/кг), склонность к самовозгоранию, отсутствие спекаемости.

К бурым углям относят угли с приведенной высшей теплотой сгорания рабочей массы беззольного топлива

$$Q_{\text{в}}^{\text{р}} \frac{100}{100 - A^{\text{р}}} < 24,00$$

# КАМЕННЫЕ УГЛИ

*К каменным углям относятся угли с высшей теплотой сгорания в условном беззольном состоянии*

$$Q_v^p \frac{100}{100 - A^p} > 24,00$$

*и с выходом летучих  $V^e > 9$  % по массе.*

*Каменные угли весьма разнообразны по своим свойствам и составу.*

# КЛАССИФИКАЦИЯ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

Наименование угля	Обозначение	Группы	Выход летучих V <sub>r</sub> , %	Толщина пластического слоя, мм
Длиннопламенный	Д	-	>37	-
Газовый	Г	Г6	>37	6-16
		Г17	>37	17-25
Газовый жирный	ГЖ	-	31-37	6-25
Жирный	Ж	1Ж26	> 33	26 и более
		2Ж26	33 и менее	26 и более
Коксовый жирный	КЖ	КЖ14	25-31	14-25
		КЖ6	25-31	6-13
Коксовый	К	К13	<25	13-25
		К10	17-25	10-12
Коксовый второй	К <sub>2</sub>	-	17-25	6-9
Отощенный спекающийся	ОС	-	<17	6-9
Слабоспекающийся	СС	1СС	25-17	-
		2СС	17-25	-
Тощий	Т	-	Менее 17	-
Антрацит	А	-	Менее 7	-

## 1.9 ЖИДКОЕ ТОПЛИВО

*Основной вид жидкого энергетического топлива - **мазут**, получаемый из **нефти**.*

*В зависимости от технологических условий переработки нефти различают:*

- ***разгонку** - неглубокую переработку нефти,*
- ***крекинг** - глубокую переработку нефти в присутствии катализаторов.*

*В пределах марок, в зависимости от содержания серы, **топочные мазуты** подразделяются на три сорта:*

- ▶ *малосернистые* ( $S^p \leq 0,5 \%$ ),
- ▶ *сернистые* ( $S^p = 0,5...2,0 \%$ ),
- ▶ *высокосернистые* ( $S^p = 2,5...3,5 \%$ , не более 4,3 %).


# **СОСТАВ МАЗУТА**

**Мазут состоит из пяти основных элементов: углерода, водорода, серы, кислорода и азота.**

**Минеральные примеси в мазутах - соли щелочных металлов, а также продукты коррозии резервуаров.**

**Зольность топочных мазутов (А) весьма незначительна и обычно не превышает 0,1 %.**

**Содержание воды (W) в мазутах колеблется в пределах 0,5...5 %.**



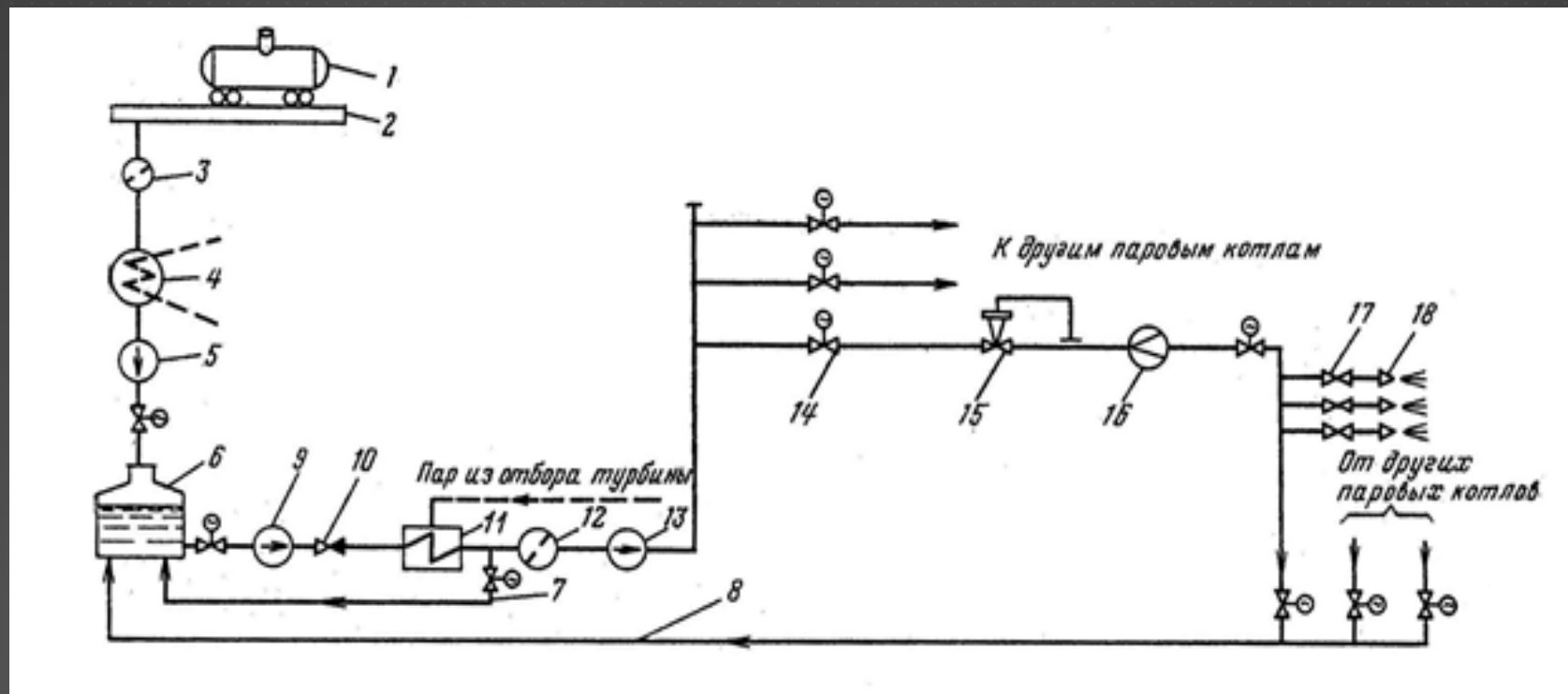


# **ВЯЗКОСТЬ МАЗУТА**

*Вязкость мазута с увеличением температуры сильно уменьшается. Для мазутов М 40 и М 100 разница в подогреве должна составлять всего 20 °C (104 °C и 124 °C) для получения одинаковой вязкости перед форсункой.*

*Для перекачки мазута температура должна быть не ниже 60...70 °C при вязкости ~30 °ВУ.*

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОДГОТОВКИ МАЗУТА



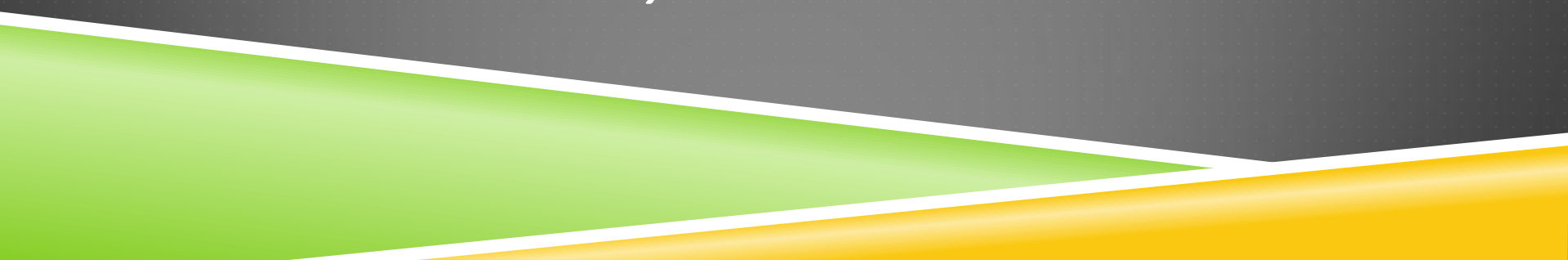
1 – цистерна с мазутом; 2 – сливное устройство; 3 – фильтр грубой очистки; 4 – сливной резервуар с подогревом; 5 – перекачивающий насос; 6 – основной резервуар; 7, 8 – линии рециркуляции мазута; 9 – насос первого подъема; 10 – обратный клапан; 11 – подогреватель мазута; 12 – фильтр тонкой очистки; 13 – насос второго подъема; 14 – запорная задвижка; 15 – регулятор расхода; 16 – расходомер; 17 – задвижка форсунки; 18 – форсунки

## **1.10 ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО**

*В энергетике в качестве газового топлива используется **природный газ**.*

*В промышленной энергетике применяют различные виды искусственных горючих газов.*


*Важнейшие характеристики газового топлива - **теплота сгорания, плотность, концентрационные пределы взрываемости** газа в смеси с воздухом.*



**Плотность природного газа в нормальных условиях составляет  $0,74 \text{ кг/м}^3$ .**

**Концентрационные пределы взрываемости** характеризуют диапазон концентраций, в пределах которых эти смеси способны взрываться при наличии источника зажигания. Для природного газа в смеси с воздухом пределы взрываемости -  **$5...15 \%$** .

**Теплота сгорания природного газа - в пределах  $33...38 \text{ МДж/м}^3$ .**



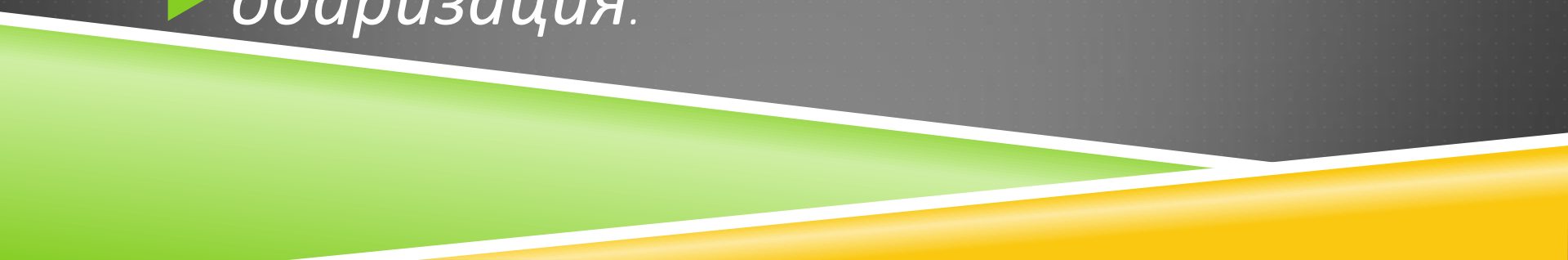
**Природный газ** - это газовые смеси, добываемые из земных недр и состоящие в основном из метана и других углеводородов (этана, пропана, бутана и т.д.).

**Попутный газ** получают при разработке нефтяных месторождений в процессе десорбции растворенных в нефти газов.

**Газ газоконденсатных месторождений** содержит помимо метана до 10 % высших углеводородов, пропана и бутана.

# *ПЕРЕРАБОТКА ПРИРОДНОГО ГАЗА*

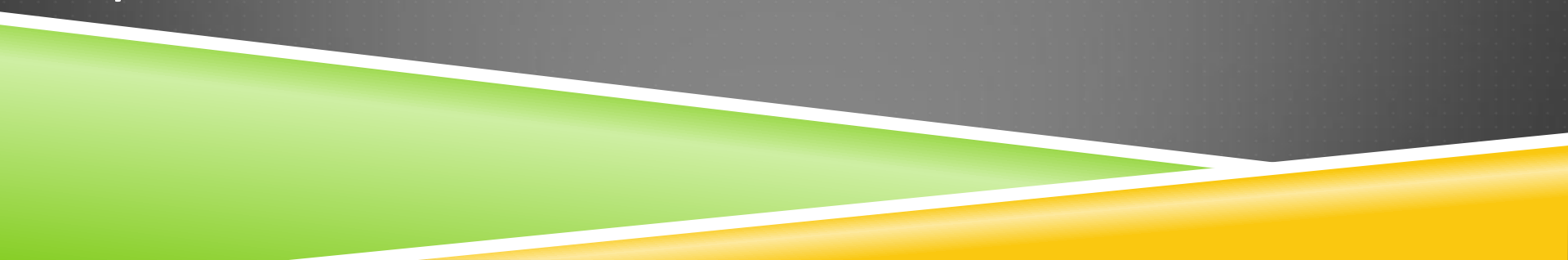
*Перед транспортировкой газа происходит:*

- ▶ очистка от сероводорода и диоксида углерода,*
  - ▶ извлечение высших углеводородов,*
  - ▶ осушка,*
  - ▶ одаризация.*
- 

# **ВИДЫ ИСКУССТВЕННОГО ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА**

**Искусственным топливом** являются горючие газы, получаемые в различных технологических процессах: в металлургии, при переработке нефти, при переработке твердых горючих ископаемых.

В некоторых случаях горючий газ является **побочным продуктом** основного производства.



В доменном производстве на **тонну чугуна** образуется около  $2200...3000 \text{ м}^3$  **доменного газа** с теплотой сгорания  $3,5...4 \text{ МДж/м}^3$ , содержащего  $25...30 \%$  **токсичного оксида углерода  $\text{CO}$**  и  $2...3 \%$  **водорода  $\text{H}_2$** .

При производстве **кокса** на каждую тонну получают  $\sim 300 \text{ м}^3$  **коксового газа** с теплотой сгорания около  $17...18 \text{ МДж/м}^3$ , содержащего **водорода  $\text{H}_2 \approx 60 \%$** , **метана  $\text{CH}_4 \approx 25 \%$** , **оксида углерода  $\text{CO} \approx 6 \%$** .



*В начале XX столетия был отработан процесс газификации угля, что позволяло получать низкокалорийный газ из угля, содержащий 30 % CO, 10 % CO<sub>2</sub> и около 60 % N<sub>2</sub>, имеющий теплоту сгорания около 4 МДж/м<sup>3</sup>.*

*Проблема получения синтетического жидкого топлива - метанола из углей решена в 70-х годах прошлого столетия. Используется парокислородная газификация твердого топлива.*

# РЕАКЦИЯ КОНВЕРСИИ

На заводах по получению синтетического жидкого топлива (метанола) происходит **газификация твердого топлива** с получением  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ .

Подача кислорода обеспечивает проведение **реакции конверсии** разогретого углерода водяным паром



Реакция получения горючих газов эндотермическая, требует нагрева реагентов.

В дальнейшем из *продуктов газификации (CO и H<sub>2</sub>)* на катализаторах синтезируют искусственное жидкое топливо – *метанол CH<sub>3</sub>OH*:

