

Топливо

Топливо – вещества, выделяющие в результате тех или иных преобразований тепловую энергию, которая может быть использована в технических целях.

Основные потребители энергоресурсов

промышленность - 40%

транспорт - 50%

остальные - 10%.

Структура потребления энергоресурсов

нефть и газ - 60%

уголь - 30%

остальные виды топлив - 10%

Разведанные запасы

нефть и газ - 20%

уголь - 80%

Интенсивность потребления энергоресурсов в СССР и России

Добыча	1960	1970	1985	2000
Всего, млн т у. т.*	716	1300	2500	5000
Газ, %	7,5	18	30	40
Нефть, %	30	40	36	35
Уголь, %	50	35	22	12
Дрова, торф, %	7,5	4	2,5	3,5
ГЭС, АЭС, %	3,2	3,5	10	8,5

ПОКАЗАТЕЛИ	1913	1940	1954	1980	1991	2001	2011	2013
Добыча угля, млн. т					353	270	334	347
Добыча нефти, включая газовый конденсат, млн. т	10,3	31,1	59,3	603	462	348	489	499
Добыча естественного газа, млрд. м ³	0,02	3,41	10,4	435	643	581	669	668

Условное топливо – низшая теплотворная способность $Q_p^H = 29\,330$ кДж/кг (7000 ккал/кг) при нормальных условиях

Классификация топлив

Основная классификация

по агрегатному состоянию – твердое, жидкое и газообразное

по происхождению – естественные (природные) и искусственные

Прочие классифицирующие признаки

история использования – традиционные и нетрадиционные

возможность воспроизводства – возобновляемые и невозобновляемые

принцип высвобождения энергии – ядерное топливо, химическое топливо

сфера применения – энергетическое (производство энергии), топочное (производство тепла)

Промышленное или энергетическое топливо – вещества, способные в процессе сложных, в основном химических, превращений, определяемых как горение, выделять значительное количество тепловой энергии, которая может быть использована для совершения полезной работы. Основными его видами являются органические топлива: торф, горючие сланцы, угли, природный газ, продукты переработки нефти.

Требования, предъявляемые к топливам

- наличие в природе в большом количестве при экономически целесообразных способах добычи
- возможность использования значительной доли теплоты, выделяющейся при горении
- удобство применения продуктов сгорания в качестве рабочего тела в энергетических и технологических установках
- минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду
- возможность использования для сжигания доступного окислителя (например, воздуха)
- стабильность свойств и характеристик при значительном изменении параметров внешней среды и рабочих условий

Перечисленным требованиям в наибольшей степени отвечают органические топлива, основу которых составляют углерод и водород.

Традиционные виды топлив

Топливо состоит из **горючей массы** и **балласта**.

К горючей массе относят первичные топливообразователи: углерод С, водород Н и серу S, окисление которых сопровождается выделением теплоты.

Кроме того, к горючей массе относят содержащиеся в топливе кислород О и азот N, которые могут участвовать в процессе горения.

К балласту относят золу и влагу.

Процентное содержание указанных веществ называется элементарным составом.

Примерные значения теплотворной способности различных видов топлива (в кДж/кг)

Дерево сухое	19 000	Антрацит	34 000
Торф сухой	23 000	Древесный уголь	34 000
Бурый уголь	28 000	Нефть	44 000
Каменный уголь	35 000	Природный газ	50 000

Классификация углей

Ископаемые угли делятся на три основных типа: **бурые, каменные и антрацит**. Переходным типом между каменными углями и антрацитом является полуантрацит.

К **бурым углям (марка Б)** относят угли с высшей теплотой сгорания рабочей массы беззольного угля $Q_{\text{в}}^{\text{р}} \frac{100}{(100 - A^{\text{р}})} < 5700$ ккал/кг. По этому же признаку выделяют бурые угли и в международной классификации ископаемых углей.

Бурые угли по содержанию в них рабочей влаги разделяют на три группы:

- Б1 – содержащие рабочую влагу более 40,0%;
- Б2 – от 30,0 до 40,0%;
- Б3 – до 30,0%.

Классификация углей

К каменным относят угли с высшей теплотой сгорания рабочей массы беззольного угля $Q_{\text{в}}^{\text{р}} 100/(100 - A_{\text{р}}) > 5700$ ккал/кг и, в отличие от антрацитов и полуантрацитов, с высоким выходом летучих веществ ($V_{\text{Г}} > 9\%$). Основная масса их в разной степени спекается, и только часть углей, с выходом летучих свыше 42–45% (длиннопламенные) и менее 17% (тощие), не спекается.

Каменные угли делятся на марки в основном по выходу летучих веществ $V_{\text{Г}}$ и толщине пластического слоя u . Нижний предел величины u , выраженный в миллиметрах, ставится в качестве индекса к обозначению марки угля. Например: Γ_{10} – газовый, минимальная толщина пластического слоя 10 мм и т. д.

Классификация углей

Марка углей	Обозначение	Выход летучих на горючую массу V^r , %	Характеристика нелетучего остатка
Длиннопламенный	Д	36 и более	От порошкообразного до слабоспекшегося
Газовый	Г	35 и более	Спекшийся
Газовый жирный	ГЖ	Более 31 (до 37)	Спекшийся
Жирный	Ж	24–37	Спекшийся
Коксовый жирный	КЖ	25–33	Спекшийся
Коксовый	К	17–33	Спекшийся
Отощенный спекающийся	ОС	14–27	Спекшийся
Тощий	Т	9–17*	От порошкообразного до слабоспекшегося
Слабоспекающийся	СС	17–37	То же

* Для дальневосточных углей марки Т $V^r = 8–20\%$.

Классификация углей

В ряде случаев угли марок Г, ГЖ, Ж, КЖ, К и ОС делят для одного и того же бассейна или месторождения на группы по нижнему пределу величины u , который ставят в качестве индекса к обозначению данных марок угля.

Угли, у которых толщина пластического слоя не может быть замерена, относятся при высоком выходе летучих веществ (обычно 37% и более) к длиннопламенным **Д**, при низком выходе летучих веществ (обычно 17% и менее) – к тощим углям **Т**.

Кузнецкие угли, добываемые в шахтах, при промежуточном выходе летучих веществ (от 17 до 37%) и отсутствии пластического слоя относят к марке СС, при $V^r = 25\text{--}37\%$ их обозначают 1СС, при V^r от 17 до 25% – 2СС.

Классификация углей

К **полуантрацитам** (марка ПА) и **антрацитам** (марка А) относят угли, имеющие выход летучих веществ в условной горючей массе менее 9%. Полуантрациты от антрацитов отличаются объемным выходом летучих веществ в условной горючей массе ($V_{об}^g$):

- полуантрациты – от 220 до 330,
- антрациты – менее 220 см³/г.

Полуантрациты обладают более высокой теплотой сгорания ($Q_6^g > 8350$ ккал/кг), тогда как средняя теплота сгорания антрацитов $Q_6^g = 8100$ ккал/кг.

Классификация углей

При **рассортировке по крупности** (грохочении) ископаемые угли и горючие сланцы разделяются на классы.

Класс угля	Обозначение	Размер кусков, мм
Плита	П	Более 100
Крупный	К	50–100
Орех	О	25–50
Мелкий	М	13–25
Семечко	С	6–13
Штыб	Ш	Менее 6
Рядовой	Р	До 300

К условному обозначению марки угля приписывают условное обозначение класса, например бурый, крупный – БК, газовый, орех – ГО, антрацит, семечко – АС.

Смесь углей различных по крупности классов обозначают следующим способом: БОМ – бурый, орех с мелочью, БМСШ – бурый, мелкий, с семечком и штыбом, АСШ – антрацит, семечко со штыбом и пр.

Классификация углей

При грохочении углей и горючих сланцев, кроме указанных выше классов, получают также **отсевы**, размер кусков которых меньше определяемого.

Мелочью для грохоченых углей считаются куски размером менее нижнего предела, установленного для каждого класса, а для углей классов 0–25 и 0–50 мм и рядовых – менее 6 мм.

Часть углей, преимущественно спекающихся, используемых для коксования, подвергается обогащению – сухому или мокрому – с выделением малозольного концентрата (главным образом, для коксования), высокозольного ($A^c = 40–45\%$) промпродукта (для энергетических целей) и очень высокозольных ($A^c > 45\%$) **хвостов**, удаляемых в отвалы.

При мокром обогащении углей выделяется как самостоятельный продукт **шлам** (класс 0–3 мм), который после подсушки используется для сжигания.

Классификация углей

В приведенную схему классификации не входят **геологически окисленные** каменные и бурые угли. Примером первых являются угли, добываемые в разрезах Кузнецкого бассейна, вторых – сажистые угли Подмосковного бассейна. Окисленными являются также угли практически всех ныне разрабатываемых месторождений Средней Азии и особенно Ангрена, Кызыл-Кия, Сулюкты, Шураба (маркируемые как бурые).

Окисленные каменные угли характеризуются полной или частичной потерей спекаемости, неокисленные каменные угли обладают этим свойством при выходе летучих $V^r = 17-40\%$.

У всех окисленных углей пониженные (иногда на 1000–2000 ккал/кг) теплота сгорания и содержание водорода (при сильной окисленности). За редким исключением они обладают малой механической прочностью и повышенной склонностью к окислению и самовозгоранию.

Классификация торфа

Характеристика торфа	Вид торфа	
	фрезерный	кусковой
Содержание влаги W^p , %, не более:		
I группа	50	45
II группа	52	48
Зольность A^c , %, не более	23	23
Засоренность посторонними примесями (куски размером свыше 25 мм), %, не более	10	---
Содержание мелочи (куски размером менее 25 мм), %	---	30

Переработка нефти

Продукцией НПЗ являются бензин, лигроин, керосин, газойль, моторные и котельные топлива, мазут, сжиженные газы, различные виды сырья для нефтехимических производств, а также, в зависимости от технологической схемы предприятия - смазочные, гидравлические и иные масла, битумы, нефтяные коксы, парафины.

Исходя из набора технологических процессов, на НПЗ может быть получено от 5 до более, чем 40 позиций товарных нефтепродуктов.

Продукты технологической переработки нефти, получают при нагреве до 500... 1000К и давлении от атмосферного до 5...10 МПа.

Переработка нефти

Процесс переработки нефти делится на 3 основных этапа:

- ❑ 1. Разделение нефтяного сырья на фракции, различающиеся по интервалам температур кипения (*первичная переработка*);
- ❑ 2. Переработка полученных фракций путем химических превращений содержащихся в них углеводородов и выработка компонентов товарных нефтепродуктов (*вторичная переработка – каталитический и термический крекинг, гидрокрекинг, риформинг, изомеризация, алкилирование и т.д.*);
- ❑ 3. Смешение компонентов с использованием, при необходимости, различных присадок, с получением товарных нефтепродуктов с заданными показателями качества (*товарное производство*).

Переработка нефти

Первичная переработка нефти

Производится на установках атмосферно-вакуумной перегонки нефти. Нагрев сырья перед разделением его на фракции, осуществляется в змеевиках *трубчатых печей* за счет тепла сжигания топлива и тепла дымовых газов.

Установка разделена на два блока - *атмосферной и вакуумной перегонки*.

Атмосферная перегонка предназначена для отбора *светлых нефтяных фракций* - бензиновой, керосиновой и дизельных, выкипающих до 360°C, потенциальный выход которых составляет 45-60% на нефть. Остаток атмосферной перегонки - мазут.



Установка ЭЛОУ-АВТ-6 Саратовского НПЗ. В центре - атмосферная колонна (показаны точки отбора фракций), справа - вакуумная.

Атмосферная перегонка

Процесс заключается в разделении нагретой в печи нефти на отдельные фракции в *ректификационной колонне* - цилиндрическом вертикальном аппарате, внутри которого расположены *контактные устройства (тарелки)*, через которые пары движутся вверх, а жидкость - вниз. Количество тарелок в ректификационных колоннах варьируется от 20 до 60. Предусматривается подвод тепла в нижнюю часть колонны и отвод тепла с верхней части колонны, в связи с чем температура в аппарате постепенно снижается от низа к верху. В результате сверху колонны отводится бензиновая фракция в виде паров, а пары керосиновой и дизельных фракций конденсируются в соответствующих частях колонны и выводятся, мазут остаётся жидким и откачивается с низа колонны.

Вакуумная перегонка

Вакуумная перегонка предназначена для отбора от мазута *масляных дистиллятов* или широкой масляной фракции (*вакуумного газойля*). Остатком вакуумной перегонки является гудрон.

Необходимость отбора масляных фракций под вакуумом обусловлена тем, что при температуре свыше 380°C начинается термическое разложение углеводородов (*крекинг*), а конец кипения вакуумного газойля - 520°C и более. Поэтому перегонку ведут при остаточном давлении 40-60 мм рт. ст., что позволяет снизить максимальную температуру в аппарате до $360\text{-}380^{\circ}\text{C}$.

Разрежение в колонне создается при помощи соответствующего оборудования, ключевыми аппаратами являются паровые или жидкостные *эжекторы*.

Вторичная перегонка бензина

Получаемая на атмосферном блоке бензиновая фракция имеет низкое октановое число, а также содержит газы (в основном пропан и бутан) в объёме, превышающем требования по качеству, и поэтому не может использоваться ни в качестве компонента автобензина, ни в качестве товарного прямогонного бензина.

При вторичной перегонке от бензиновой фракции отгоняются сжиженные газы, и осуществляется её разгонка на 2-5 узких фракций на соответствующем количестве колонн.



Установки вторичной перегонки бензина и атмосферной перегонки на НПЗ "Славнефть-ЯНОС" (слева направо).

Продукты переработки нефти

Бензин – самый важный продукт переработки нефти; из сырой нефти производится до 50% бензина. Эта величина включает природный бензин, бензин крекинг-процесса, продукты полимеризации, сжиженные нефтяные газы и все продукты, используемые в качестве промышленных моторных топлив (смесь из 20–60 углеводородных компонентов). Каждому процессу переработки нефти предъявляются требования по количеству и качеству производимого бензина.

Фракции различных сортов бензина имеют плотность 0,72–0,76 кг/м³.

Бензин принято считать состоящим из 85% С и 15% Н.

Лигроин – смесь жидких углеводородов, более тяжелая, чем бензин. Пределы выкипания 120-240 °С. Прозрачная желтоватая жидкость. Ранее вырабатывался главным образом как моторное топливо для тракторов. В связи с переводом тракторного парка на дизельные двигатели лигроин как моторное топливо утратил своё значение. Плотность – 0,75-0,85 кг/м³ (0,785—0,795 для приборного лигроина по ГОСТ 8863-76).

Продукты переработки нефти

Керосин – горючая смесь жидких углеводородов с температурой кипения 150–250°C, прозрачная, бесцветная (или слегка желтоватая), слегка маслянистая на ощупь. Он состоит в среднем из 86% С и 14% Н. Плотность керосина 0,78–0,85 кг/м³.

При нагревании остатка нефти примерно от 550 до 640К получают дизельное и моторное топливо плотностью 0,87–0,9 кг/м³.

Промежуточные нефтяные дистилляты, кипящие при температурах выше, чем керосин, но ниже, чем смазочные масла, представляют собой горючее для средне- и высокоскоростных дизельных двигателей.

Мазут – жидкий продукт тёмно-коричневого цвета, остаток после выделения из нефти или продуктов её вторичной переработки бензиновых, керосиновых и газойлевых фракций, выкипающих до 350–360°C. Плотность – 0,89–1 кг/м³, температура застывания 10–40°C.

Жидкое топливо для ГТД и ГТУ

В соответствии с международной спецификацией все отечественные жидкие топлива по делятся на три группы:

- 1 – легкие дистиллятные
- 2 – тяжелые дистиллятные
- 3 – остаточные топлива

К легким дистиллятным топливам относится, например, топливо для реактивных двигателей, дизельное топливо, жидкие продукты переработки горючих сланцев и газов.

Тяжелыми дистиллятными топливами являются высококипящие фракции нефти, сланцевых и крекинг-остатков, а также продуктов процесса замедленного коксования пека, гудрона и различные смеси дистиллятов вторичных процессов и прямой перегонки.

Остаточные топлива – это тяжелые вязкие остатки прямой перегонки и крекинга нефти, иногда в смеси с более легкими фракциями. В эту группу входят моторные топлива ДТ и ДМ, флотские мазуты Ф5 и Ф12, мазуты топочные разной вязкости М40–М100.

Топливо для авиационных двигателей

В авиационных ГТД используют специальное топливо для реактивных двигателей. Его получают на основе керосина с добавлением лигроиновых фракций и различных присадок. Средний его состав следующий:

$$C = 86\%, H = 14\%$$

Широко используется в авиации топливо Т-1 и особенно ТС-1 с несколько большим содержанием серы.

Топливо Т-1 содержит меньше ароматических соединений, по сравнению с топливом ТС-1 и менее склонно к нагарообразованию. Оба топлива хорошо сохраняют свои свойства при длительном хранении, потому что в их состав входят лигроино-керосиновые фракции прямой перегонки.

Топливо Т-1 обладает большей плотностью по сравнению с топливом ТС-1 при той же теплоте сгорания.

Топливо для стационарных ГТУ и транспортных ГТД

Стационарные ГТУ и транспортные ГТД работают на более тяжелом жидком топливе – дизельном, моторном ДТ и ДМ, флотском мазуте Ф-5 и Ф-12, малосернистом мазуте 40, 40В, 100 и 100В, а также сернистом и высокосернистом, нефтяном топливе, получаемом из дистиллятов вторичных процессов и прямой перегонки. Нефтяное топливо для ГТУ по своим свойствам близко к дизельному топливу.

В энергетике используется мазут трех марок – 40, 100 и 200. Марка определяется предельной вязкостью, составляющей при 80°С для мазута 40 – 8,0; для мазута 100 – 15,6; для мазута 200 – 6,5–9,5 град. усл. вязкости (°УВ) при 100°С.

По содержанию серы различают малосернистый мазут ($\leq 0,5\%$), сернистый (до 2%) и высокосернистый (до 3,5%); по вязкости – маловязкий и высоковязкий, содержащий смолистые вещества и парафин. Наиболее вязкие сорта мазута имеют температуру застывания 25–35°С. В связи с этим при сжигании применяется предварительный нагрев вязких мазутов до температуры 80–120°С.

Природный газ

Представляет собой смесь углеводородов, сероводорода и инертных газов: азота и углекислоты. Основной горючей составляющей природных газов является метан (от 80 до 98%), что обуславливает их высокую теплоту сгорания. Инертных газов содержится немного: 0,1–0,3% CO_2 и 1–14% N_2 .

По величине теплотворной способности все виды твердого топлива и нефть уступают природному газу. Газообразное топливо полностью смешивается с воздухом, так что при его сжигании требуется лишь очень небольшой избыток кислорода по сравнению с теоретической величиной. Это снижает потери теплоты на нагрев избытка кислорода (воздуха). Газ можно предварительно нагревать, благодаря чему повышается температура пламени. Его удобно транспортировать на большие расстояния, пользуясь газопроводами.

Будучи прекрасным топливом, природный газ является в то же время исключительно ценным и экономически выгодным сырьем для промышленности органического синтеза.

Генераторные газы

Генераторные газы получают из твердого топлива путем частичного окисления содержащегося в нем углерода при высокой температуре. Этот процесс называется газификацией твердого топлива. Он осуществляется в специальных устройствах – газогенераторах, представляющих собой вертикальную шахту, в которую сверху загружают топливо, а снизу вдувают воздух, кислород, водяной пар или смеси этих веществ. В зависимости от состава вдуваемых газов различают воздушный, водяной, паровоздушный (смешанный) и другие генераторные газы.

Генераторные газы

Воздушный газ получают при вдувании воздуха. Вследствие большого количества выделяющейся теплоты, температура достигает 1400–1600°С. Получающийся газ в основном состоит из оксида углерода и азота.

Паровоздушный (смешанный) газ получают при вдувании смеси воздуха с водяным паром. В этом случае дополнительно происходит взаимодействие углерода с водяным паром и в состав смешанного газа, кроме оксида углерода и азота, входит водород, что повышает его теплотворную способность. Смешанный газ применяется в промышленности в качестве топлива. Он самый распространенный и дешевый из всех искусственных горючих газов.

Водяной газ получают при подаче на раскаленный уголь водяного пара. Газ содержит до 86% CO и H₂ и используется не в качестве горючего, а для синтеза химических продуктов.

Коксовый газ

Коксовый газ – газ, получаемый нагреванием каменного угля до 900–1100 °С без доступа воздуха. Он образуется при коксовании угольной шихты. В чёрной металлургии он используется после извлечения химических продуктов. Этот газ в чистом виде или в смеси с природным газом используется в качестве топлива для нагревания мартеновских печей, печей стекольной и керамической промышленности, а также в коммунальном хозяйстве. Кроме того, коксовый газ служит сырьем при синтезе химических продуктов.

Коксовый газ – смесь различных горючих газов и в среднем имеет следующий состав [в % (объемн.)]:

Водород	59
Метан	25
Другие углеводороды	3
Оксид углерода (II)	6
Бесполезные примеси или балласт (CO ₂ , N ₂ , O ₂)	7

Максимальная температура продуктов сгорания - 2070 °С.

Доменный газ

Доменный газ образуется при выплавке чугуна в доменных печах. Его выход и химический состав зависят от свойств шихты и топлива, режима работы печи, способов интенсификации процесса и других факторов. Выход газа колеблется в пределах 1500-2500 м³ на тонну чугуна. Доля негорючих компонентов (N₂ и CO₂) в доменном газе составляет около 70%, что и обуславливает его низкие теплотехнические показатели.

При сжигании доменного газа максимальная температура продуктов сгорания (без учёта тепловых потерь и расхода теплоты на диссоциацию CO₂ и H₂O) равна 1400-1500⁰C. Если перед сжиганием газа его и воздух подогреть, то температуру продуктов сгорания можно значительно повысить.

Ферросплавный и конверторный газы

Ферросплавный газ образуется при выплавке ферросплавов в рудовосстановительных печах. Газ, отходящий из закрытых печей, можно использовать в качестве вторичных энергетических ресурсов. В открытых печах в связи со свободным доступом воздуха газ сгорает на колошнике.

Выход и состав ферросплавного газа зависит от марки выплавляемого сплава, состава шихты, режима работы печи, её мощности и т.п. Состав газа: 50-90% CO, 2-8% N₂, 0,3-1% CH₄, O₂ < 1%, 2-5% CO₂, остальное N₂. Максимальная температура продуктов сгорания равна 2080 °С. Запылённость газа составляет 30-40 г/м³.

Конвертерный газ образуется при выплавке стали в кислородных конвертерах. Газ состоит в основном из оксида углерода, выход и состав его в течение плавки значительно изменяются. После очистки состав газа примерно таков: 70-80% CO; 15-20% CO₂; 0,5-0,8% O₂; 3-12% N₂. Максимальная температура сгорания достигает 2000 °С.

Искусственные виды топлив

Подземная газификация угля

Превращение угля в газообразное топливо может быть осуществлено путем газификации угля непосредственно в местах залегания (под землей). Впервые мысль о возможности такого процесса была высказана Менделеевым в 1888 г. Об этом же писал и В.И.Ленин.

Синтетический бензин

Мелкоразмолотый и смешанный с маслом для образования пасты уголь вместе с небольшим количеством катализатора нагревают с водородом при высоком давлении. Полученное при этом первичное масло пропускают затем в виде пара через катализатор (соединения вольфрама или молибдена в смеси с другими веществами).

В результате образом можно получать не только чистый бензин, но также и смазочное масло, дизельное масло, осветительное масло. Процесс (гидрирования, гидрогенизации) проводят в автоклавах при температуре 400—450° и давлении около 250 ат.

Спирты

Этанол может использоваться как топливо, в т.ч. для ракетных двигателей, двигателей внутреннего сгорания в чистом виде. Ограничено в силу своей гигроскопичности используется в смеси с классическими нефтяными жидкими топливами. Применяется для выработки высококачественного топлива и компонента бензинов — этил-трет-бутилового эфира.

Метано́л — метиловый спирт, древесный спирт, карбинол, метилгидрат, гидроксид метила, простейший одноатомный спирт, бесцветная ядовитая жидкость. Это первый представитель гомологического ряда одноатомных спиртов. С воздухом в объёмных концентрациях 6,72...36,5 % образует взрывоопасные смеси. Метанол смешивается в любых соотношениях с водой и большинством органических растворителей. Его плотность — 0,7918 г/см³, температура кипения — 64,7 °С.

Метанол применяют как добавку к жидкому топливу для двигателей внутреннего сгорания. Также он используется в топливных элементах. Благодаря высокому октановому числу и большей на 20% энергетической мощности метанол используется для заправки гоночных мотоциклов и автомобилей. Метанол горит в воздушной среде, и при его окислении образуется двуокись углерода и вода.

Биотопливо

По источникам происхождения биомассу можно разделить на две основные группы.

1. Первичная биомасса

Это (растения, животные, микроорганизмы и т.п.) естественного или культивируемого происхождения. Наибольшее распространение получили специально выращиваемые для энергетических целей наземные растения: энергетические леса с быстрорастущими сортами деревьев (Великобритания, Франция, Германия, Швеция), сахарный тростник и генно-модифицированная кукуруза (Бразилия, США). Для России в зоне умеренного климатического пояса – это гибридный тополь, ива и другие растения, для южной части страны – акации, эвкалипты. В сельском хозяйстве перспективными энергетическими культурами кроме сахарного тростника и кукурузы являются маниока, сладкое сорго, рапс и др.

Помимо растений наземного происхождения для получения топлива можно применять водные растения: ламинарии, водяные гиацинты и др.

Биотопливо

2. Вторичная биомасса

К ней относятся различные органические остатки и отходы:

- отходы деревообрабатывающей промышленности (опилки, кора, стружка, щепа);
- биологические отходы животноводства (навоз крупного рогатого скота, куриный помет и др.);
- остатки сбора урожая сельскохозяйственных культур и продукты их переработки (солома, кочерыжка кукурузных початков, стебли хлопка, отходы картофеля и др.);
- промышленные и городские осадки сточных вод (ОСВ);
- твердые бытовые отходы (ТБО) городского хозяйства.

Энергетический потенциал биомассы

Биомасса только суши Земли составляет примерно 1800 млрд. тонн в пересчете на сухое вещество, из нее леса занимают 68%, травянистая экосистема – 15%, возделываемые земли – 8%. Энергетический эквивалент биомассы суши равен $3 \cdot 10^{22}$ Дж, что соответствует разведанным традиционным запасам ископаемых топлив.

Потенциальные ресурсы растительной массы для энергетического использования составляют 100 млрд тонн у.т.

В настоящее время для энергетических целей используется до 1 млрд. тонн у.т. растительной массы, что эквивалентно 25% мировой добычи нефти. В странах экваториального пояса доля биомассы в энергобалансе страны составляет 35%, в мировом потреблении – 12%, в России – 3-4%. По прогнозам к 2040 г. вклад всех возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общее потребление энергии в мире (100%) составит 47,7%, а вклад биомассы – 23,8%.

Классификация биотоплива по происхождению

1. древесное топливо (сырье из леса и отходов деревопереработки, не прошедшее химической обработки);
2. торфяное топливо;
3. аграрные топлива (специально выращиваемые растения) и отходы переработки сельхозпродукции (солома, лузга подсолнечника и др.);
4. органическая составляющая ТБО и ОСВ;
5. щелоки (побочный продукт целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК), включающий органическую и химическую составляющие);
6. биологические отходы животноводства.

Топливосжигающие устройства

Переработка биомассы в топливо

Методы переработки биомассы в топливо:

- механическая переработка
- биологическая переработка
- термохимическая конверсия

Механической переработкой получают твердое и жидкое топливо – биодизельное.

Термохимическая конверсия позволяет получать жидкое, газообразное и твердое топливо.

Биологическая переработка позволяет получать жидкое и газообразное топливо. Побочный продукт, получаемый при биопереработке лигносодержащего сырья, лигнин, может использоваться как твердое топливо и как строительный материал.

Стоимость энергоносителей

Цены на энергоносители складываются под влиянием большого количества факторов и критериев.

- издержки и прибыль;
- акцизы и налоги, таможенные пошлины;
- соотношение спроса и предложения;
- государственная политика регулирования деятельности предприятий ТЭК;
- цены на мировом рынке;
- инвестиционная политика и т. д.

Добыча и производство энергоносителей

Вид топлива	Един. изм.	1992	1998	2004	2008	2010	2013
Уголь	млн.тонн	337	232	282	329	322	347
Нефть	млн.тонн	384	294	443	472	486	499
Газ природный и попутный	млрд.м ³	641	591	633	664	649	668
Бензин автомобильный	млн.тонн		25,9	30,5	35,6	36	38,8
Топливо дизельное	млн.тонн		45,1	55,4	68,9	70	71,5
Мазут топочный	млн.тонн		52,8	53,6	63,9	69,6	76,9

Стоимость энергоносителей

Средние цены производителей (в рублях на конец года)

Вид топлива	Един.изм	1992	1998	2004	2008	2010	2013
Уголь	тонна	1,1	114	359	565	683	962
Нефть (вкл. газ. конденсат)	тонна	6,3	339	3426	3377	7566	11328
Газ природный и попутный	тыс. м ³	0,2	44,1	275	533	626	1301
Бензин автомобильный	тонна	18,3	1309	9244	8963	16699	20108
Топливо дизельное	тонна	16	1092	10110	10180	16340	22847
Мазут топочный	тонна	8,3	455	1927	3673	7805	7717

Средние цены производителей (в долларах США на конец года)

Вид топлива	Един.изм	1992	1998	2004	2008	2010	2013
Курс \$ (на конец года)	руб. за 1\$	0,42	20,7	27,75	29,38	30,48	32,73
Уголь	тонна	2,7	5,5	12,9	19,2	22,4	29,4
Нефть (вкл. газ. конденсат)	тонна	15,2	16,4	123,5	114,9	248,2	346,1
Нефть (7,28 барр/т для Urals)	\$ за барр.	2,1	2,3	17,0	15,8	34,1	47,5
Газ природный и попутный	тыс. м ³	0,5	2,1	9,9	18,1	20,5	39,7
Бензин автомобильный	тонна	44,1	63,4	333,1	305,1	547,9	614,4
Топливо дизельное	тонна	38,6	52,9	364,3	346,5	536,1	698,0
Мазут топочный	тонна	20,0	22,0	69,4	125,0	256,1	235,8

Транспортировка энергоносителей

Доставка топлива осуществляется путем:

- автоперевозок
- Ж/Д перевозок
- трубопроводным транспортом (газопроводы, нефтепроводы, продуктопроводы)
- с использованием морского и речного транспорта.
- с использованием воздушного транспорта

Речные нефтеперевозки, в сравнении с железнодорожными, снижают затраты на 10-15%, и на 40% в сравнении с автомобильными.

Состав топлив

Топливо состоит из *горючей массы* и *балласта*.

К *горючей массе* относят первичные топливообразователи: углерод **C**, водород **H** и серу **S**, окисление которых сопровождается выделением теплоты.

Кроме того, к *горючей массе* относят содержащиеся в топливе кислород **O** и азот **N**, которые могут участвовать в процессе горения.

К *балласту* относят золу **A** и влагу **W**. Содержание указанных веществ в % называется элементным составом. Различают элементный состав по *рабочей, сухой и горючей* массе.

Твердое или жидкое топливо в том виде, в котором оно поступает на горение, называется рабочим топливом и обозначается верхним индексом «р». Его элементный состав:

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

Состав топлив

Минеральные примеси и влажность одного и того же сорта топлива в различных местах его добычи могут быть разными, а также могут изменяться при транспортировке и хранении. Более постоянным является состав *горючей массы* топлива.

Поэтому для сравнительной теплотехнической оценки различных сортов топлива введены условные понятия *сухой (индекс «с»)*, *горючей (индекс «г»)* и *органической массы (индекс «о»)*.

Влага в твердом топливе состоит из аналитической, в которой молекулы воды связаны с молекулами минерального компонента золы химическими связями, и внешней (физической), находящейся в межпоровом пространстве топлива.

Внешняя влага легко удаляется сушкой, при этом затраты теплоты определяются только испарением. Масса топлива после удаления внешней влаги называется *аналитической (индекс «а»)*. В жидком и газообразном топливе влагу можно считать только внешней.

Состав топлив

Массы в латинских обозначениях:

□ *рабочая* – индекс *r* от английского *raw* – сырьевой, исходный

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

t – от английского слова *total*, уточняет, что в данном случае приводится общее количество влаги, которое включает внешнюю влагу W_{EX} и влагу воздушно-сухого топлива W_h .

□ *аналитическая* – индекс *a*

□ *сухая* – индекс *d* – от английского слова *dry*

□ *сухая беззольная* – индекс *daf* – от английских слов *dry, ash, free* – условное состояние топлива, не содержащего общей влаги и золы

□ *органическая* – индекс *o* – условное состояние топлива, не содержащего влаги и минеральной массы

□ *влажная беззольная* – индекс *af*.

Сухую беззольную массу иначе называют "*горючей массой*".

Состав органического топлива

Индексы массы	Углерод C	Водород H	Кислород O	Сера органическая S_{op}	Сера колчеданная S_k	Балласт Б		
						Зола А	Влага	
							аналитическая W^a	внешняя $W_{вн}$
о	Органическая масса							
г	Горючая масса							
с	Сухая масса							
а	Аналитическая масса							
р	Рабочая масса							

Проба твердого топлива с установившейся в естественных условиях влажностью, поступающего для лабораторного анализа, называется **аналитической пробой топлива**.

Состав органического топлива

Пересчет одной массы на другую проводят по коэффициентам пересчета, определяемым по балансам масс

Исходная масса	Множители пересчета		
	Рабочая	Сухая	Горючая
Рабочая	1	$100/(100-W^p)$	$100/(100-W^p-A^p)$
Сухая	$(100-W^p)/100$	1	$100/(100-A^c)$
Горючая	$(100-W^p-A^p)/100$	$(100-A^c)/100$	1

Количество углерода в горючей массе (в %) при известном его количестве в рабочей массе

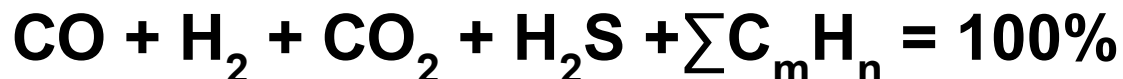
$$C^{\Gamma} = C^P \frac{100}{100 - W^P - A^P}$$

Состав органического топлива

*Элементарный химический состав горючей массы
различных видов топлива*

Топливо	Состав горючей массы, %				
	C ^г	W ^г	O ^г	N ^г	S ^г _{ор+к}
Древесина	51	6	42,5	0,5	-
Торф	58	6	33	2,5	0,5
Бурый уголь	64-77	4-6	15-25	1	0,5-7,5
Каменный уголь: длинопламенный тощий	75-80	5-6	10-16	1,5	0,5-7
	88-90	4-4,5	3-4	1,5	1-3
Антрацит	90-93	2-4	2-4	1	0,5-2
Горючие сланцы	60-65	7-9	10-17	1	5-15
Мазут	86-88	10-10,5	0,5-0,8		0,5-3

Состав газового топлива принято записывать как сумму процентов объемного содержания отдельных газов:



где $\text{C}_m \text{H}_n$ – непредельные углеводороды метанового ряда.

Составляющие топлива

Углерод – основная горючая составляющая топлива, горение которого обуславливает выделение основного количества тепла. Теплота сгорания аморфного углерода 34,4 МДж/кг (8130 ккал/кг).

Водород – второй по значению элемент горючей массы топлива, его содержание в горючей массе твердых и жидких топлив колеблется от 2 до 10%. Много водорода содержится в природном газе, мазуте и горючих сланцах, меньше всего в антраците. Теплота сгорания водорода в водяной пар – 10,8 МДж/м³ (2579 ккал/м³).

Кислород и азот – органический балласт, так как их наличие уменьшает содержание горючих элементов в топливе. Кроме того, кислород, находясь в соединении с водородом или углеродом топлива, переводит некоторую часть горючих в окислившееся состояние и уменьшает его теплоту сгорания.

Содержание кислорода велико в древесине и торфе. Азот при сжигании топлива в атмосфере воздуха не окисляется и переходит в продукты сгорания в свободном виде.

Составляющие топлива

Сера – вредная и нежелательной примесь топлива. Ее содержание в твердых топливах обычно невелико. Сернистый газ, образующийся при горении топлива, и особенно сопутствующий ему в небольшом количестве серный газ SO_3 вызывают коррозию металлических частей парогенераторов и отравляют окружающую местность. Присутствие серы вследствие ее низкой теплоты сгорания — 9,3 МДж/кг (2220 ккал/кг) уменьшает теплоту сгорания топлива.

Сера состоит из двух частей – горючей (летучей) и негорючей.

Негорючая (сульфатная) сера входит в состав золы и при расчете теплотворной способности не учитывается, горючая сера S^p разделяется на органическую S_{op} , колчеданную (пиритную) S_k и элементарную (сульфатную) S_c .

В жидком топливе сера содержится в виде серо-органических соединений (меркаптанов, сульфидов, дисульфидов и т. д.), элементарной серы и сероводорода. В газовом топливе сера содержится в основном в виде сероводорода.

Составляющие топлива

Органическая сера входит в состав сложных высокомолекулярных органических соединений топлива.

Колчеданная сера представляет собой ее соединения с металлами, чаще с железом (FeS_2 — железный колчедан), и входит в минеральную часть топлива.

Органическая и колчеданная сера при горении топлива окисляется с выделением тепла.

Сульфатная сера входит в минеральную часть топлива в виде сульфатов CaSO_4 и FeSO_4 и поэтому в процессе горения дальнейшему окислению не подвергается. Сульфатные соединения серы при горении переходят в золу.

В горючую массу топлива входят $S_{\text{ор}}$ и $S_{\text{к}}$, которые при сгорании топлива переходят в газообразные соединения SO_2 , и в небольшом количестве в SO_3 .

Теплотворная способность топлива

Энергетическая ценность топлива определяется его теплотворной способностью Q , равной количеству теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы или объема топлива.

Теплотворной способностью или теплотой сгорания называется количество теплоты (в Дж), которое выделяется при полном сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива или 1 м^3 газообразного.

При определении теплоты сгорания оговариваются условия ее получения. В качестве стандартных условий приняты: температура $T_0 = 288\text{ К}$ и давление $p_0 = 0,1\text{ МПа}$.

Теплоту сгорания топлива измеряют при его сжигании в калориметре или вычисляют по теплотам сгорания горючих веществ, входящих в его состав.

Различают *высшую* и *низшую* теплоту сгорания: в первой не учитывается тепло, затрачиваемое на подогрев и испарение влаги топлива и влаги, образующейся в результате сгорания водорода топлива; во второй – эти затраты тепла учитываются.

Теплотворная способность топлива

Продукты сгорания топлива – дымовые газы – выходят из теплотехнических агрегатов с температурой, выше точки росы, поэтому теплоту конденсации водяных паров не учитывают при расчетах, а теплотворную способность без учета теплоты конденсации называют низшей теплотворной способностью Q_H .

Полное возможное тепловыделение при сгорании топлива определяется его высшей теплотой сгорания при доведении водяных паров в продуктах сгорания до жидкого состояния при 273 К.

Если содержание в топливе водорода H^p и влаги W^p дано в процентах по массе, то

$$Q_V^p - Q_H^p = 25,1 (W^p + 9H^p), \text{ в кДж/кг}$$

$$Q_V^p - Q_H^p = 6 (W^p + 9H^p), \text{ в ккал/кг}$$

В технических расчетах используют низшую теплоту сгорания топлива.

Теплотворная способность топлива

-

$$C^{\Gamma} = C^{\text{P}} \frac{100}{100 - W^{\text{P}} - A^{\text{P}}}$$

Теплотворная способность топлива

- $$C^{\Gamma} = C^{\text{P}} \frac{100}{100 - W^{\text{P}} - A^{\text{P}}}$$

Теплотворная способность топлива

Теплотворная способность 1 кг или 1 м³ условного топлива $Q_y = 29\,330$ кДж/кг (или в кДж/нм³).

Тепловой эквивалент условного топлива $\varepsilon_y = Q_H^p / Q_y$.

Расход условного топлива в кг/ч или м³/ч равен

$$B_y = B_T / \varepsilon_y,$$

где B_T – расход конкретного топлива в единицу времени на единицу продукции, кг/ч или м³/ч.

При горении смеси топлив их теплотворная способность оценивается пропорционально их массовому составу по принципу суперпозиции.

Отношение топлива к нагреванию

Поведение топлива при нагревании, так же как и теплота сгорания, зависит от его химического состава.

Теплоустойчивые топлива при значительном их нагревании или даже изменении агрегатного состояния не меняют структуры молекул своих соединений. К ним следует отнести водород и вещества, по составу близкие к чистому углероду, а также окись углерода.

Теплонеустойчивые топлива – такие, у которых при нагревании разрушаются старые молекулы и образуются новые, устойчивые при этих температурах. Теплонеустойчивыми являются топлива, полученные из нефти, газообразное, битуминозные каменные угли и др.

Жидкое топливо

Характеризуется *фракционным составом* и следующими основными физико-химическими свойствами:

кинематическая вязкость
плотность
теплоемкость
температура кристаллизации
температура вспышки
зольность.

Фракционный состав. Основные фракции, которые получают при переработке нефти, – бензин, керосин, дизельное и моторное топлива, мазут. В жидком топливе содержится от 0,1% (легкие топлива) до 10% (мазут) влаги. Зольность жидких топлив $A^p = 0,1...0,15\%$, в авиационных топливах $A^p < 0,005\%$, в мазутах – $A^c = 0,6...0,7\%$.

Жидкое топливо

Фракционный состав определяет закономерность "выкипания" различных фракций при нагревании. Легкий фракционный состав топлива позволяет ему быстрее испаряться, что способствует уменьшению времени образования топливовоздушной (паровоздушной) смеси и ее выгорания. Быстрое и обильное испарение в начальной стадии разогрева (горения) топлива облегчает его зажигание и, следовательно, пуск двигателя.

В отдельных случаях еще до полного выкипания может начаться разложение топлива, которое заканчивается образованием твердого коксового остатка — нагара. Практически выделение нагара всегда имеет место при нагревании и сжигании жидких топлив, однако количество его бывает разное в зависимости от соединений, входящих в состав топлива, и их количества. Мало склонны к нагарообразованию парафино-нафтеновые углеводороды. Наличие же ароматических углеводородов, так же как и серы, смол (особенно при повышении плотности и отношения количества углерода к водороду в топливе), способствует нагарообразованию.

Жидкое топливо

В мазуте нередко содержится соль натрия NaCl в виде кристаллов или водного раствора. В присутствии оксидов серы она через ряд промежуточных соединений образует сульфат натрия Na_2SO_4 . Отложения золы ухудшают аэродинамические качества лопаток турбин, изменяют и уменьшают проходные сечения каналов и, следовательно, увеличивают сопротивление и значительно снижают мощность ГТД.

Коррозия лопаток и других элементов турбины резко интенсифицируется с ростом температуры. Сильнейшую коррозию деталей вызывает оксид ванадия V_2O_5 , а также сульфат натрия Na_2SO_4 . При температуре более 1073K сульфат натрия способен растворить защитный слой металла лопаток и вызвать коррозию. Наиболее опасна ванадиевая коррозия, резко возрастающая в присутствии сернистых соединений при температуре $920 - 970\text{K}$ и выше.

Жидкое топливо

Кинематическая вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению частиц (слоев), движущихся с различными скоростями, обуславливающее появление сил внутреннего трения между ними. Кинематическая вязкость жидких топлив измеряется (в $\text{мм}^2/\text{с}$) при определенной температуре T , обычно 293, 323, 353 или 373 К.

От вязкости топлива зависят условия его транспортирования (перекачивания), а также условия и качество распыливания. С повышением температуры T жидкого топлива его вязкость уменьшается. Бензин, керосин, дизельное топливо имеют небольшую вязкость (8–12 $\text{мм}^2/\text{с}$) даже при температуре до 250К, что позволяет применять эти топлива без предварительного подогрева и получать хорошее распыливание в форсунках различных типов.

Более тяжелое топливо (мазуты) даже при температуре 293–303К могут иметь вязкость более 80–140 $\text{мм}^2/\text{с}$, что затрудняет перекачивание его по трубопроводам. Достаточно качественное распыливание такого топлива невозможно без предварительного подогрева его до 350–420 К. Особенно вязкие мазуты перед подачей в форсунку подогревают до 600–800 К.

Жидкое топливо

Теплоемкость топлива – это количество теплоты, необходимое для повышения температуры 1 кг топлива на 1К. Теплоемкость растет при понижении плотности или повышении температуры топлива. В расчетах обычно теплоемкость принимают равной 1,65 – 2,1 кДж/(кг К) в зависимости от плотности топлива.

Температура застывания (кристаллизации) – температура, при которой топливо теряет свою подвижность и, в частности, не может перекачиваться по трубопроводам.

Температура вспышки – минимальная температура, при которой смесь воздуха с парами топлива, образовавшаяся у его поверхности, в данных условиях способна воспламениться от внешнего источника воспламенения (пламени, электрической искры и т. п.). При **температуре вспышки** скорость образования паров ниже, чем скорость их горения, поэтому устойчивое горение возможно лишь при достижении температуры воспламенения.

Жидкое топливо

Температура вспышки – этот показатель применяется для определения допустимой температуры нагревания горючих веществ при различных условиях хранения и перевозки.

Температура вспышки возрастает с увеличением атмосферного давления, поскольку она связана с температурой кипения исследуемого вещества. Температура вспышки зависит главным образом от давления пара низкокипящего компонента, а высококипящий компонент служит передатчиком тепла.

В качестве примера можно указать, что попадание даже 1 % бензина в смазочное масло снижает температуру вспышки от 200 до 170°С, а 6 % бензина снижают её почти вдвое.

В зависимости от состава топлива значительно изменяются условия его самовоспламенения. С этими условиями, в свою очередь, связаны моторные свойства топлив, в частности, детонационная стойкость.

Жидкое топливо

Температурой воспламенения – минимальная температура, при которой пары испытуемого продукта при внесении внешнего источника воспламенения образуют устойчивое незатухающее пламя. Температура воспламенения всегда выше температуры вспышки, часто довольно значительно – на несколько десятков градусов.

Температурой самовоспламенения – минимальная температура, при которой пары нефтепродуктов смеси с воздухом воспламеняются без внешнего источника воспламенения. На этом свойстве нефтепродуктов основана работа дизельных двигателей внутреннего сгорания. Температура самовоспламенения выше температуры вспышки на несколько сот градусов.

Температура вспышки керосинов, дизельных топлив, смазочных масел, мазутов и других тяжелых нефтепродуктов характеризует нижний предел взрываемости.

Температура вспышки бензинов, давление паров которых при комнатных температурах значительно, обычно характеризует верхний предел взрываемости.

В первом случае определение ведется при нагревании во втором – при охлаждении.

Теплотехническая оценка топлива

Для оценки эффективности использования топлив важными теплотехническими характеристиками топлив являются:

- содержание и состав минеральных примесей
- влажность
- выход летучих
- свойства коксового остатка
- величина теплоты сгорания.

Определение этих характеристик входит в технический анализ топлива.

Теплотехническая оценка топлива

Минеральные примеси топлива

Содержание минеральных примесей даже в одном и том же виде топлива может сильно колебаться. Основными минеральными примесями являются: силикаты (кремнезем SiO_2 , глинозем Al_2O_3 , глина), сульфиды (преимущественно FeS_2), карбонаты (CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3), сульфаты (CaSO_4 , MgSO_4), закиси и окиси металлов, фосфаты, хлориды, соли щелочных металлов.

Балласт топлива

Негорючие минеральные примеси и влага являются внешним балластом твердого топлива, они уменьшают содержание горючей массы в единице массы рабочего топлива; кроме того, при сжигании топлива на испарение влаги затрачивается определенное количество тепла. Поэтому с увеличением зольности и влажности уменьшается теплота сгорания топлива, увеличивается его расход у потребителя, соответственно увеличиваются расходы на добычу и перевозку.

Теплотехническая оценка топлива

Зола топлива

Твердый негорючий остаток, получающийся после завершения преобразований в минеральной части топлива в процессе его горения, называют золой. Выход газифицирующейся части примесей уменьшает массу золы по отношению к исходным минеральным примесям топлива, а некоторые реакции, например, окисление железного колчедана, приводят к его увеличению. Обычно масса золы немного меньше массы минеральных примесей в топливе, лишь в горючих сланцах вследствие разложения содержащихся в них карбонатов золы получается значительно меньше по сравнению с массой минеральных примесей.

В топочной камере при высоких температурах часть золы расплавляется, образуя раствор минералов, который называется шлаком. Из топки шлаки удаляются в жидком или гранулированном состоянии.

Важными свойствами золы являются ее абразивность и характеристики плавкости. Зола с высокой абразивностью вызывает сильный износ конвективных поверхностей нагрева парогенераторов.

По характеристикам плавкости золы энергетические угли подразделяются на три группы: с легкоплавкой золой $t_3 \leq 1350^\circ\text{C}$, с золой средней плавкости $t_3 = 1350 \div 1450^\circ\text{C}$ и с тугоплавкой золой $t_3 > 1450^\circ\text{C}$.

Теплотехническая оценка топлива

Влага топлива – подразделяется на внешнюю и внутреннюю.

Внешняя влага связана с поверхностным увлажнением топлива при его добыче, транспортировке и хранении. К внешней также относится капиллярная влага, т. е. влага, заполняющая капилляры и поры, сильно развитые в торфе и бурых углях. Внешняя влага может быть удалена механическими средствами и тепловой сушкой.

К *внутренней* относят коллоидную и гидратную влагу.

Коллоидная влага является составной частью топлива. В его массе она распределяется очень равномерно. По мере увеличения степени углефикации топлива содержание коллоидной влаги падает. Много коллоидной влаги в торфе, меньше в бурых углях и мало в каменных углях и антрацитах.

Гидратная или *кристаллизационная* влага химически связана с минеральными примесями топлива, главным образом серноокислым кальцием и алюмосиликатом. Гидратной влаги в топливе содержится мало, она становится заметной в многозольных топливах. При подсушке испаряется часть коллоидной влаги, но практически не изменяется содержание гидратной влаги. Последняя может быть удалена лишь при высоких температурах.

Теплотехническая оценка топлива

Влага топлива

Повышенная влажность приводит к снижению теплоты сгорания топлива и увеличению его расхода, к увеличению объема продуктов сгорания, а следовательно, потерь тепла с уходящими газами и затрат на удаление их из парогенератора.

Кроме того, высокая влажность способствует выветриванию и самовозгоранию твердого топлива при его хранении.

С повышением влажности ухудшается сыпучесть твердых топлив.

В зимнее время высокая влажность может вызвать смерзаемость топлива, нарушающую нормальную работу устройств топливоподачи с резким уменьшением подачи топлива.

Выход летучих

При нагревании твердых топлив происходит распад термически нестойких сложных углеводородистых соединений с выделением горючих газов: водорода, углеводородов, окиси углерода и негорючих газов – углекислоты и водяных паров.

Выход летучих веществ определяют нагреванием пробы воздушно-сухого топлива в количестве 1 г без доступа воздуха при температуре 850°С в течение 7 мин. Выход летучих, определенный как уменьшение массы пробы испытываемого топлива за вычетом содержащейся в нем влаги, относят к горючей массе топлива.

По мере увеличения химического возраста топлива содержание летучих веществ уменьшается, а температура их выхода увеличивается. При этом из-за уменьшения количества инертных газов теплота сгорания летучих веществ увеличивается.

Выход летучих

Выход летучих в % от горючей массы составляет:

для сланцев	80–90%
для торфа	70%
для бурых углей	30–60%
каменных углей марок Г и Д	30–50%
для тощих углей	11–13%.
для антрацитов	2–9%.

Содержание летучих веществ и их состав могут быть приняты в качестве признаков степени углефикации топлива, его химического возраста.

Выход летучих начинается при температурах:

для торфа	~100°C
бурых и жирных каменных углей	150–170°C
горючих сланцев	230°C
тощих углей и антрацитов	~400°C

и завершается при температурах 1100–1200°C.

Коксовый остаток

Коксовый остаток – образуется после отгонки летучих веществ из топлива. Способность топлива при термическом разложении образовывать более или менее прочный кокс называется спекаемостью. Торф, бурые угли и антрацит дают порошкообразный кокс. Каменные угли с выходом летучих 42—45% и тощие угли с выходом летучих менее 17% дают порошкообразный или слипшийся коксовый остаток.

Угли, образующие спекшийся коксовый остаток, являются ценным технологическим топливом и используются в первую очередь для производства металлургического кокса. Кокс в виде спекшегося или сплавленного остатка получается нагреванием измельченного до размеров 3—3,5 мм угля при температуре 1000°С без доступа воздуха. Свойства кокса зависят от состава органических соединений горючей массы топлива и содержания летучих веществ в нем.