Міністерство освіти і науки України
Мирогощанський аграрний коледж



Методичні
рекомендації
з дисципліни
«Основи теплотехніки і гідравліки»

Тема: Паливо і його характеристики

Тема: Паливо і його характеристики

План лекції:

1. Загальні відомості про енергетичне паливо і його класифікація.
2. Елементарний склад твердого, рідкого і газоподібного палива.
3. Формули для перерахунку робочої маси палива на умовну і навпаки.
4. Класифікація і будова калориферів.
5. Теплота згоряння палива – вища і нижча. Тепловий еквівалент робочого палива.

Мета: вивчити класифікацію та основні характеристики основних видів палива.

Матеріальне забезпечення: методичні рекомендації до вивчення даної теми, плакати, підручник**.**

Використана література:

1. Черняк О.В., Рибчинська Г.Б. **Основи теплотехніки і гідравліки**. - Київ: Вища школа, 1982р.-223с.
2. Драганов Б.Х., Бессараб О.С. **Теплотехніка**. - Київ: Фірма «ІНОКС», 2005.-400с.
3. Дідур В.А., Стручаєв М.І. **Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві**. - К.:Аграрна освіта, 2008.-233с.
4. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О., ***Основи теплотехніки і гідравліки:*** Навчальний посібник /За ред. Б.Х. Драганова. **-** Київ.: Аграрна освіта , 2010. – 495 с

Паливо та його характеристики

Енергетика є важливою галуззю сучасного виробництва. Вона включає в себе виробництво, переробку, перетворення, транспортування і використання енергоресурсів та енергоносіїв усіх видів.

Основним джерелом енергії, яке використовує людина, є паливо. **Паливом називають** речовини, що здатні в процесі хімічних та ядерних перетворень виділяти значну кількість теплоти, яка може бути використана для енергетичних, технологічних і побутових потреб.

Розрізняють органічні та ядерні палива. В органічному паливі теплота виділяється внаслідок реакцій сполучення горючих складових з окислювачем — з киснем повітря, в ядерному паливі — внаслідок реакцій розпаду атомних ядер деяких ізотопів важких елементів (урану U^{235} та U^{233} плутонію P^{239}).

Органічне паливо горить, ядерне розщеплюється.

За агрегатним станом паливо поділяють па тверде, рідке та газоподібне.

Органічне паливо поділяють на викопне, природне та штучне.

Викопне природне паливо є продуктом біологічних та хімічних перетворень речовини рослин та мікроорганізмів, що існували мільйони років тому. Воно

нагромаджене у надрах Землі.

Штучне органічне паливо створене людиною відповідною переробкою природних сполук. Штучне паливо поділяють на композиційне і синтетичне. Композиційне паливо — це механічна суміш горючих речовин (наприклад, пропан-бутан). Синтетичне паливо — це продукт термохімічної переробки горючих речовин, внаслідок якої вони набувають нових властивостей, що задовольняють споживача більшою мірою. До синтетичного палива належать: продукти переробки нафти; рідке паливо, вироблене з вугілля; етанол з рослинності тощо. Поняття «паливо» є категорією не тільки технічною, а й економічною, оскільки у кожному конкретному випадку його використання має бути ефективним. До того ж, спалюючи паливо, слід створити умови для якомога меншого забруднення навколишнього середовища.

У табл.16.1 наведено класифікацію основних видів палива за його походженням та агрегатним станом.

СКЛАД І ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВА

Органічне паливо складається з горючих елементів — водню **H**, вуглецю **C**, сірки **S** та негорючих елементів — кисню **O** та азоту **N**. Сірку, що міститься у паливі, поділяють на горючу або летку $S_л$, та негорючу $S_н$. Горюча сірка складається з органічних $S_{ор}$ та колчеданних $S_к$ сполук: $S_л=S_{ор}+S_к$. Крім того, до складу палива входять волога **W** та зола **A**.

Вміст елементів визначають у відсотках за масою.

Розрізняють робочу, суху, горючу та органічну маси органічного палива. Кожній складовій маси палива присвоюється відповідний верхній індекс.

Робоча маса:

$$C^p+H^p+S^p+O^p+M^p+A^p+W^p=100\ \%. \quad (16.1)$$

Склад палива, висушеного при 1О5...11О°С, визначає його суху масу:

$$C^c+H^c+S^c_л\ S^c_л-O^c+N^c-A^c=100\ \%. \quad (16.2)$$

Таблиця 16.1. Класифікація основних видів палива

Агрегатний стан палива	Походження палива	
	природне	штучне
Тверде	Викопне (торф, буре та кам'яне, вугілля, антрацит, горючі сланці), дрова, відходи сільськогосподарського виробництва.	Кокс, напівкокс, торфові та кам'яновугільні брикети, деревне вугілля
Рідке	Нафта	Топкові мазути, паливо пічне побутове, дизельне паливо, солярове масло, бензин тощо. Продукти переробки твердого палива. Синтетичне паливо
Газоподібне	Природний та попутний гази	Гази: генераторний, доменний, коксовий та ін. Пропан-бутанова суміш. Біогаз

Склад палива як горючого матеріалу визначається складом його горючої маси:

$$C^r+H^r+O^r+K^r+S^r = 100\ \%. \quad (16.3)$$

Власне горючими у цій масі є вуглець, водень та сірка. Органічна маса:

$$C^o+H^o+S^o+O^o+N^o=100\ \%. \quad (16.4)$$

Сірка органічної маси не містить колчеданної складової.

Зведення елементного складу палива від сухої маси до іншої здійснюється за допомогою коефіцієнтів, що ґрунтуються на відповідних пропорціях.

Газоподібне паливо — це суміш різних горючих (CO, H_2, CH_4) і негорючих (O_2, N_2, CO_2) газів та невеликої кількості водяної пари. Баластом у сухому природному газі є азот та диоксид вуглецю.

Склад газоподібного палива задається у відсотках до об'єму, і всі розрахунки відносять до кубічного метра сухого газу за нормальних фізичних умов: тиску 101,3 кПа (760 мм рт.ст.) і температури 0 °С. Вміст домішок (водяної пари, смоли, пилу) виражають у грамах на кубічний метр сухого газу.

Основним елементом горючої маси твердого і рідкого палива є вуглець. Із збільшенням віку твердого палива вміст вуглецю збільшується (від 40 % у деревині до 93 % в антрациті). У робочій масі нафти та нафтопродуктів вміст вуглецю коливається в межах 84...87 %. За умов повного згоряння вуглецю утворюється диоксид вуглецю CO_2 і виділяється 32,8 МДж теплоти на 1 кг вуглецю. Якщо процес горіння організовано неправильно, то вуглець згоряє не повністю, внаслідок чого утворюється оксид вуглецю CO та виділяється всього 9,2 МДж теплоти.

Водень є складовою частиною будь-якого палива. У твердому паливі кількість водню може досягати 6 %, у рідкому — 11... 14 %. За умови повного згоряння 1 кг водню виділяється 143,64 МДж теплоти.

У твердому паливі більшості східних районів України вміст сірки невеликий (); у деякому вугіллі (наприклад, підмосковному та ін.) вміст її зростає і становить 6...9 %.

За вмістом сірки нафту і мазут поділяють на три класи:

1. малосірчисті із вмістом сірки до 0,5 %,
2. сірчисті — від 0,51 до 2 %,
3. високосірчисті — від 2,1 до 3,5 %.

Сірчисті гази у поєднанні з водяною парою утворюють сірчану кислоту, яка спричиняє корозію сталевих деталей топки і загибель рослинності у навколишньому середовищі (так звані кислотні дощі).

Вміст азоту у твердих паливах не перевищує 2 % (у вугіллі Кузнецького басейну N^p =1,9 %, Донецького і підмосковного басейнів — N^p = 0,6 %; у горючих сланцях N^p =0,1 %, у торфі — 1,1 %). Азот є шкідливим компонентом, оскільки під час спалювання азотовмісних сполук можуть утворюватися токсичні оксиди N0 та $N0_2$- Крім того, азот є внутрішнім баластом палива.

Вологу у твердому паливі умовно поділяють на зовнішню і гідратну. До зовнішньої належить волога, що потрапила до маси палива під час видобування, зберігання та його транспортування з ґрунтовими водами та з атмосферного

повітря (вільна волога). До зовнішньої відносять сорбовану вологу та вологу, що заповнює капіляри та пори маси паливної речовини, так звану зв'язану вологу. До гідратної вологи належать колоїдна волога палива і волога, що є складовою кристалогідратів мінеральних домішок палива. Гідратна волога становить невелику частину води, що міститься у паливі.

Максимальна вологість $\mathbf{W^p}$ робочої маси палива досягає 50 % і більше. На перетворення у пару 1 кг води, взятої при 0 °С, слід витратити 2,5 МДж теплоти, тому вміст вологи у паливі визначає як можливість забезпечення ефективного процесу його спалювання, так і доцільність використання даного горючого матеріалу. Вологість визначають висушуванням наважки при 105...110 °С.

Неспалювана частина палива утворює негорючі залишки, що складаються із золи та шлаку.

Зола — порошкоподібний негорючий залишок, що утворюється під час горіння палива. Вона включає в себе мінеральні домішки, занесені у паливо в період його утворення, а також частки породи, що захоплюються під час видобування.

Шлак — мінеральні домішки, які під час горіння палива розплавилися або спеклися. Він має певну міцність. Зола з температурою плавлення 1200 °С вважається низькоплавкою, понад 1500 °С — тугоплавкою. Плавкість золи залежить від ЇЇ хімічного складу.

Аналізуючи паливо, зольність його визначають на суху масу, прогартовуючи при температурі 100... 105 °С попередньо висушену пробу до припинення зменшення маси. Зольність робочої маси визначають за формулою

$$\mathbf{100A^p=(100-W^p)A^c.} \quad (16.5)$$

Вміст золи у паливі коливається у широких межах. Зольність сухої маси палива $\mathbf{A^c}$ становить, %:

- для деревини — 1,
- торфу — 10,
- донецького вугілля — 15...25,
- олександрійського бурого вугілля — ЗО,
- сланців — до 60.

У рідкому паливі міститься невелика кількість мінеральних домішок (0,2... 1,0 %).

Важливою характеристикою горючої маси палива є вихід летких речовин. Чим більше летких речовин, тим більше виділяється горючих газів під час нагрівання палива і, отже, простіше запалити це паливо і легше підтримувати стійке горіння.

Вихід летких речовин **V** у відсотках на горючу масу визначають, прогартовуючи 1 г палива у закритому тиглі при (850 +10) °С протягом 7 хв. Для деревини і сланців $\mathbf{V^r}$ = 85...9О %, для антрацитів — 3...4 %. Для бурого чи кам'яного вугілля вихід летких речовин коливається у межах 9...50 %, для торфу — 70 %.

Теплота згоряння палива — це параметр, що характеризує його енергетичну цінність. Теплота згоряння дорівнює кількості теплоти, яка виділяється від повного згоряння 1 кг маси твердого чи рідкого палива або 1 м^3

газового палива за нормальних фізичних умов. Теплота згоряння вимірюється в кілоджоулях на кілограм і кілоджоулях (або мегаджоулях) на кубічний метр.

Розрізняють вищу та нижчу теплоти згоряння.

Вищою теплотою згоряння Q_B^p Q_B^p називається кількість теплоти, що виділяється під час згоряння палива з урахуванням теплоти конденсації водяної пари, яка утворюється при згорянні водню $\mathbf{H^p}$ і випаровуванні вологи палива $\mathbf{W^p}$. Якщо від Q_B^p Q_B^p відняти теплоту конденсації водяної пари, то дістанемо **нижчу теплоту згоряння** Q_H^p Q_H^p Оскільки 1 кг водню дає під час згоряння 9 кг води, а теплота конденсації 1 кг водяної пари дорівнює близько 2,5 МДж, то

$$Q_H^p = Q_B^p \; Q_H^p = Q_B^p \; \mathbf{-0.0025(9H^p+W^P)} \quad (16.6)$$

Величини $\mathbf{H^p}$ і $\mathbf{W^P}$ підставляють у цю формулу у відсотках, Q_H^p *і* Q_B^p Q_H^p *і* Q_B^p — у мегаджоулях на кілоґрам (МДж/кг).

У теплотехнічних розрахунках нижчу теплоту згоряння палива, МДж/кг, визначають за формулою Менделєєва:

Q_H^p Q_H^p **=0,339C^p+1,031H^p+0,109(**$S_л^p$ $S_л^p$ **-O^p)-0,025W^p.** (16.7)

Нижчу теплоту згоряння сухого газоподібного палива, МДж/м^3, визначають за теплотою згоряння його компонентів:

$$Q_H^p = 0.127CO + 0.108H_2 + 0.234H_2S + 0.358CH_4 + 0.59C_2H_4 + 0.638C_2$$

Для порівняння палива різних видів при визначенні енергетичних балансів, а також при оцінюванні паливних енергоресурсів усі види палива за теплотою згоряння зводять до єдиного еквівалента. Таким тепловим еквівалентом є одиниця умовного палива, що має теплоту згоряння 29,308 МДж/кг (7000 ккал/кг). Щоб перерахувати реальні палива в умовне паливо, використовують тепловий еквівалент, кг у.п./кг,

$$\mathbf{E=}Q_H^p \; Q_H^p \mathbf{/29,308.}$$

Усереднені значення теплових еквівалентів основних видів палива кг у.п./кг:

- для вугілля — 0,72,
- газу природного — 1,17...1,2;
- нафти — 1,43;
- мазуту — 1,3;
- торфу — 0,4;
- дров — 0,45.

Для визначення зольності, вологості та вмісту сірки в паливі, користуються поняттям зведених характеристик. Вони дорівнюють вмісту відповідного компонента в паливі ($\mathbf{W^p}$, $\mathbf{A^P}$, $\mathbf{S^P}$), поділеному на нижчу теплоту згоряння палива:

$$W^{п}=\frac{W^{p}}{Q_{H}^{p}}\frac{W^{p}}{Q_{H}^{p}},\quad A^{п}=\frac{A^{P}}{Q_{H}^{P}}\frac{A^{P}}{Q_{H}^{P}},\ S^{п}=\frac{S_{л}^{P}}{Q_{H}^{P}}\frac{S_{л}^{P}}{Q_{H}^{P}}.$$

Використання наведених характеристик спрощує розрахунки, пов'язані з визначенням характеристик палива.

Тверде паливо

Тверде органічне паливо — це деревина, торф, буре вугілля, кам'яне вугілля та антрацит. Цінність палива як горючої речовини визначається його хімічним складом та основними властивостями.

Деревина (дрова) за геологічним віком — наймолодше органічне паливо. Для різних порід склад органічної маси дров приблизно однаковий: **$C^{г}$ = 50 %, $H^{г}$=6 %, $O^{г}$ = 43 %, $N^{Г}$ =1 %**.

Основним баластом у дровах є волога, вміст якої у свіжозрубаній деревині досягає 50...60 %. Дрова бувають сухі з вологістю менше ніж 25 %, напівсухі з вологістю 25...35 % і сирі з вологістю понад 35 %.

Зольність дров на робочу масу не перевищує 1 %. Теплота згоряння горючої маси дров становить 18,8...19,2 МДж/кг, проте при вологості ЗО % вона знижується до 13,0...13,3 МДж;/кг.

Торф — молоде за геологічним віком викопне паливо. Він утворюється внаслідок розкладання рослинності в умовах надлишку вологи і незначного доступу повітря. Розрізняють торф моховий, або верховий, з незначним вмістом золи (2...4 %) і луговий, або низинний, із зольністю 8...16 %. Трапляються торфовища змішаного перехідного походження, зольність яких дорівнює 7...9 %. Вологість свіжовидобутого торфу становить близько 90 %. У процесі природного сушіння його вологість знижується до 40 %. Горюча маса торфу характеризується таким складом, %: $C^{г}$ = 55...56; $H^{г}$ = 6; $O^{г}$ = 35...40; $N^{Г}$ = 0,5...3,0; $S^{г}$ =0,12...1,5. Нижча теплота згоряння горючої маси торфу становить близько 12,6 МДж/кг.

У шарових топках спалюють грудковий торф, що формується в процесі видобування у вигляді цеглин, які потім висушуються. Найбільшого застосовування в енергетиці набув фрезерний торф у вигляді гранул. Такий торф використовують у топках камерного типу.

Сланці складаються з вапняків, що просякнуті продуктами розкладання рослин і тваринних організмів без доступу повітря. Вони відрізняються високим вмістом золи (50...60 %) і вологи (15...25 %). У горючій частині сланців високий вміст кисню (до 10 %) і великий вихід летких речовин (до 90 %), тому вони легко займаються. Велика зольність і значна вологість різко знижують теплову цінність сланців; теплота згоряння їх 5,8...10,8 МДж/кг.

Буре вугілля — паливо рослинного походження, значно старше за геологічним віком, ніж торф. Воно має високу зольність (15...ЗО %) і вологість (15...ЗО %), тому діапазон значень нижчої теплоти згоряння їх великий — 10...17 МДж/кг. За вологістю їх поділяють на три групи: Б1 із вмістом вологи понад 40 %, Б2 із вмістом вологи ЗО...40 % і БЗ із вмістом вологи до ЗО %. Склад горючої маси бурого вугілля дуже неоднорідний, %: $C^{г}$ = 65...78; $H^{г}$ = 4,3...6,2; $O^{г}$=16...17; $N^{Г}$ = 0,7...1,7; $S^{г}$ = 0,4...3,9. Вихід летких речовин на горючу масу становить ЗО...60 %.

Кам'яне вугілля утворювалося внаслідок повільного розкладання деревовидних рослин без доступу повітря протягом мільйонів років. Це основний вид твердого палива в енергетиці. За складом органічної маси кам'яне вугілля неоднорідне, %: $C^г$ = 78...9О; $H^г$ = 4,0...5,8; $O^г$ = 3...15; $N^г$ =0,5...2,0; $S^г$=1...6 %. Зольність кам'яного вугілля на робочу масу становить 10...25 %, вологість — 5...12 %, вихід летких речовин — 9...50 % . Нижча теплота згоряння робочої маси коливається від 20,7 до 27,0 МДж/кг.

За виходом летких речовин і характером леткого залишку кам'яне вугілля поділяють на марки (табл. 16.2.

Таблиця 16.2. Марки вугілля

Вугілля	Марка	Вихід летких речовин, %
Довгополуменеве	Д	Понад 37
Газове	Г	– 35
Жирне	Ж	27...35
Коксове	К	18...27
Опіснене спікливе	ОС	14...22
Малоспікливе	СЕ	25...37
Пісне	Т	8...1

Антрацити мають найдавніший геологічний вік серед твердого палива. Вони мають чорний колір, їм властива висока щільність міцність. їх можна перевозити на великі відстані без помітного подрібнення. Вологість антрацитів 3...7 %, зольність 10...18 %, вихід летких речовин 2...9 %. Теплота згоряння антрацитів 25...27 МДж/кг.

Відходи агропромислового виробництва

Ці відходи використовують як паливо для виробничих та побутових потреб. До них належать солома, стебла соняшника і бавовника, костриця, лушпиння соняшника, рисова лузга тощо. За складом органічної маси ці відходи близькі до деревини. З відходів сільськогосподарського виробництва із застосуванням звязуючих речовин виготовляють брикети. Вони найзручніші для спалювання.

Рідке паливо

Паливо, що використовується для потреб теплоенергетики, одержують методами термохімічного розкладання нафти.

Нафта складається в основному з вуглеводнів трьох класів:

1)метанові вуглеводні — метан, етан, пропан, бутан, ізобутан тощо;

2)нафтенові вуглеводні — циклогексан тощо;

3)ароматичні вуглеводні — бензол, толуол, нафталін тощо.

Склад нафти такий, %:

$C^р$ = 83...87; $H^р$=11...14; $S^р$ від 0,01 у мало-сірчистих нафтах до 5...7 — у високосірчистих, $O^р$=0,1...0,3; $N^р$ =0,02..1,7. Нижча робоча теплота згоряння нафти $Q_н^р$ $Q_н^р$ =40...46 МДж/кг. Природна нафта містить у собі не більше ніж 0,3 % мінеральних домішок і 2 % води.

З нафти, залежно від температури перегонки, одержують нафтопродукти: бензинові, гасові, дизельні, солярові, мазутні. Для побутових потреб випускають пічне побутове паливо (ППП). У великих опалювальних котельнях, що працюють

Таблиця 16.4. Основні характеристики твердого палива

Родовище	Марка	Склад робочої маси								Склад повітря і продуктів згоряння, $м^3/кг$				Теплота згоряння Q^P_H МДж/кг	Вихід летких речовин %
		W^P	A^P	S^P_K	S^P_{OP}	C_P	H_P	N_P	O_P	V^O	V_{RO}	V^O_N	$V^O_{H_2O}$		
Донецьке	Д	13,0	24,4	1,8	1,3	47,0	3,4	1,0	8,1	4,91	0,9	3,89	0,62	18,5	43
	Г	10,0	25,2	2,1	1,1	51,2	3,6	0,9	5,8	5,42	0,98	4,29	0,61	20,47	40
	Ж	6,0	26,3	2,0	0,7	56,5	3,5	1,0	4,0	5,91	1,70	4,67	0,56	22,40	32
	Т	6,0	25,4	1,6	0,8	61,1	2,9	1,0	1,2	6,24	1,16	4,94	0,50	23,40	12
	А	8,5	30,2	1,1	0,5	56,4	1,1	0,5	1,7	5,30	1,06	4,19	0,31	19,97	4
Львівсько-Волинське	Г	10,0	22,5	2,1	0,9	53,3	3,5	1,0	6,7	5,54	1,02	4,39	0,60	20,85	39
	ГЖ	8,0	32,2	2,1	0,7	49,7	3,3	0,7	4,3	5,15	0,93	4,08	0,55	19,38	36

рідкому паливі, звичайно застосовують мазут, а у невеликих та побутових установках — пічне побутове паливо.

Газоподібне паливо

Це паливо поділяють на природне і штучне. До природного належать газ, що видобувається з газових родовищ, попутний газ, що видобувається одночасно із видобутком нафти, а також газ, що видобувається із конденсатних родовищ. До штучних газів належать гази, що утворюються під час переробки нафти, перегонки твердого палива, анаеробної ферментації відходів (біогаз), а також зріджені гази.

Гази, що видобуваються з газових родовищ, складаються в основному з метану (85...95 %), а також N_2 = 0...4 % , CO_2 — не більше ніж 15 % , H_2S — не більше ніж 6 %. Нижча теплота згоряння цих газів Q^p_H Q^p_H =33...40 МДж/кг.

Генераторний газ утворюється під час перегонки твердого палива (кам'яного або бурого вугілля, дров, торфу) з частковим доступом повітря (близько 60 %) у спеціальних установках — газогенераторах. Склад генераторного газу, %: CO=25...30; H_2=12...15; CH_4 = 0,5...3,5; CO_2 = 5...8; O_2 = 0,2...0,5; N_2 = 45...50%. Нижча теплота згоряння генераторного газу 5,0...6,5 МДж/$м^3$.

Основні характеристики органічних палив України наведено в табл. 16.3 і 16.4.

Контрольні запитання і завдання.

1. Дайте означення джерела енергії ?
2. Що називають паливом ?
3. Наведіть класифікацію органічного палива.
4. З чого складається тверде і рідке паливо ?
5. Наведіть характеристики твердих палив.
6. Дайте основні характеристики рідкого і газоподібного палива.
7. Як визначають об’єми продуктів згоряння ?
8. Як визначають ентальпію продуктів згоряння ?