

# РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

**Чмель Валерій Миколайович,  
Новікова Інесса Петрівна.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України  
Україна, Київ*

**Мета роботи:** Метою роботи є розробка технології спалювання твердого палива: низькоякісного вугілля, відходів біомаси та штучного палива з відходів біомаси – брикетів.

# ТВЕРДЕ ПАЛИВО

## Результати технічного аналізу різних твердих палив.

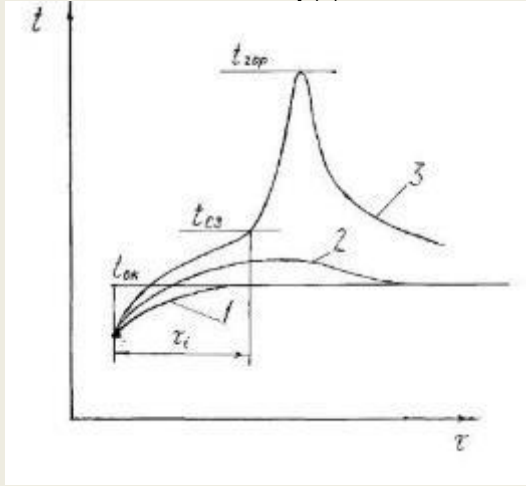
№ з/п	Вид палива	W <sup>p</sup> , %	A <sup>p</sup> , %	V <sup>a</sup> , %	Q <sub>n</sub> <sup>p</sup> , ккал/кг
1	Кам'яне вугілля	1,457	44,97	21,95	4050
2	Антрацитовий штиб - АШ	3,11	30,32	6,82	4160
3	Березові дрова	8,68	1-2	80-87	2990
4	Тирса (дуб + сосна)	7	1,73	78,08	2990
5	Тирса дуба	7,58	1,32	72,33	3000
6	Листя (клен)	45,81	5,99	39,91	2100
7	Хвоя (ялина-лапник)	54,065	2,0	33,06	2980
8	Стулки каштану	5,49	4,77	66,39	2830
9	Лузга гречки	7,47	1,5	73,86	4070
10	Лузга проса	9,63	9,43	70,61	3859
11	Лузга вівса	8,71	4,9	76,21	4128
12	Лушпиння соняшника	9,01	2,91	68,77	3415
13	Стулки квасолі	9,44	6,59	72,19	4055
14	Стрижні кукурудзи	6,59	1,37	74,83	4012,6
15	Горox (зерно)	6,77	4,08	23,15	-
16	Пшениця(зерно)	8,59	1,45	74,38	4132
17	Солома (пшениця)	8,095	4,37	69,22	3415
18	Костриця льону	9,67	2,21	71,41	-
19	Костриця льону + коріння +клоччя	8,98	3,6	69,63	-
20	Кріп	63	7,86	68,06	-
21	Папір газетний	6,52	6,09	72,49	4430
22	Папір крейдяний	3,38	26,77	53,35	3044
23	Папір для грошових знаків (гривня)	6,39	4,31	80,25	4400
24	Тара полімерна		0,0409	99,959	до8000
25	Торф	35,7	23,2	42,2	3450

## Побутове сміття та його склад

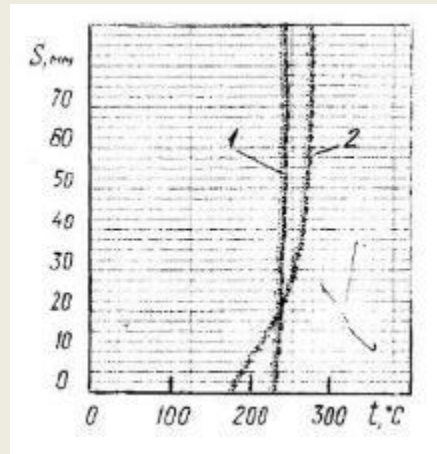
Побутові відходи	C,%	H,%	O,%	N,%	S,%	Зола,%
Газета	49,14	6,16	43,03	0,05	0,16	1,52
Цуккий обгортковий папір	44,9	6,08	47,34	0	0,11	1,07
Журнали	32,91	4,95	38,55	0,07	0,09	23,43
Картон	43,73	5,7	44,93	0,09	0,21	5,34
Паптові відходи	37,87	5,41	42,74	0,17	0,09	13,72
Відходи рослинної їжі	49,06	6,62	37,55	1,68	0,2	4,89
Залишки обробки м'яса	59,59	9,47	24,65	1,02	0,19	5,08
Шкіряне взуття	42,01	5,32	22,83	5,98	1,0	22,86
Гумовий кабель та підметки	53,22	7,09	7,76	0,5	1,34	30,09
Сміття з пылососу	35,69	4,73	20,08	6,26	1,15	32,09

# ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ САМОЗАЙМАННЯ РІЗНИХ ТВЕРДИХ ПАЛИВ В ШАРІ

Діаграма процесу  
самозаймання твердого палива



Діаграма зміни температури  
лузги проса

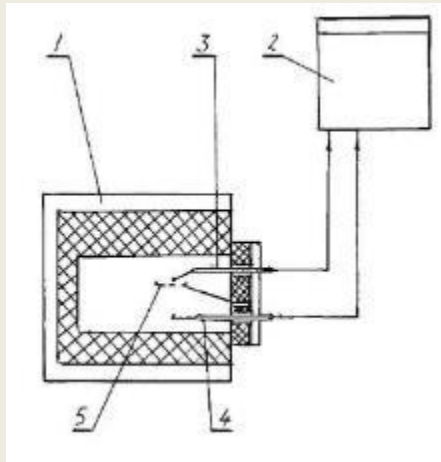


Діаграма зміни  
температури лузги проса:  
температура окислювача  
256 °С

Температура самозаймання

Вид палива	Температура самозаймання °С
Деревина(береза)	290 - 350
Лузга гречки	310 - 340
Лузга проса	315 - 340
Лузга вівса	315 - 345
Костриця льону	480 - 500
Папір газетний	320 - 340
Торф	250 - 270
Кам'яне вугілля	500 - 610
Антрацит	790 - 810

Установка для визначення  
температури самозаймання  
та періоду індукції твердого  
палива в шарі

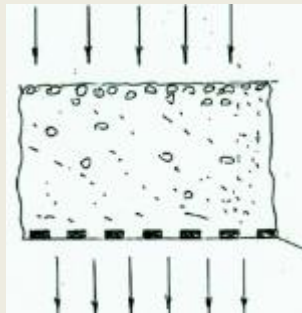


# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ТВЕРДИХ ПАЛИВ В ЗАТИСНЕНОМУ ШАРІ ТА ДОПАЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ ПЛАСКО-ПАРАЛЕЛЬНИХ СТРУМЕНІВ В РЕЖИМІ САМОЗАЙМАННЯ

Спалювання в затисненому шарі палив

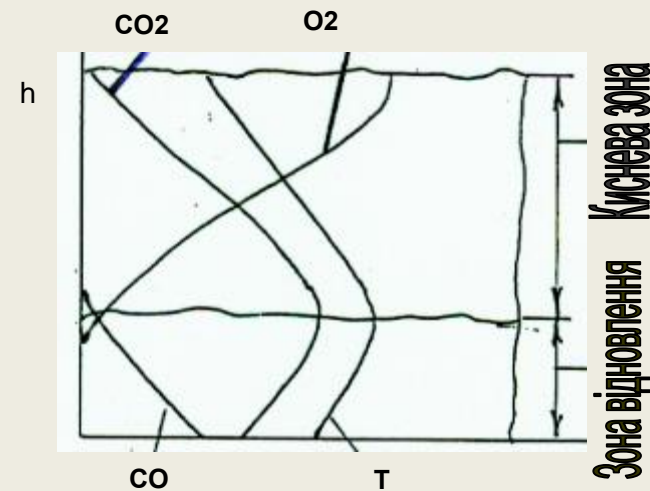
Схема спалювання твердого палива в затисненому шарі

Паливо та повітря



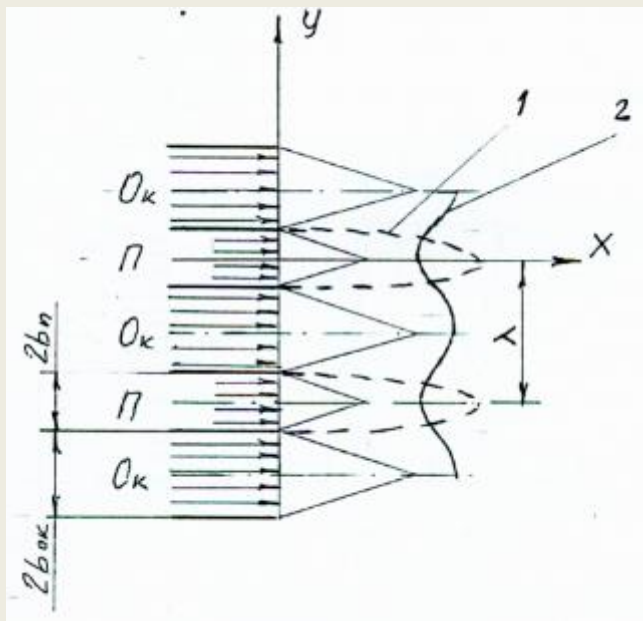
Шлак та димові гази

Зони горіння в затисненому шарі при прямоточній схемі процесу полум'я



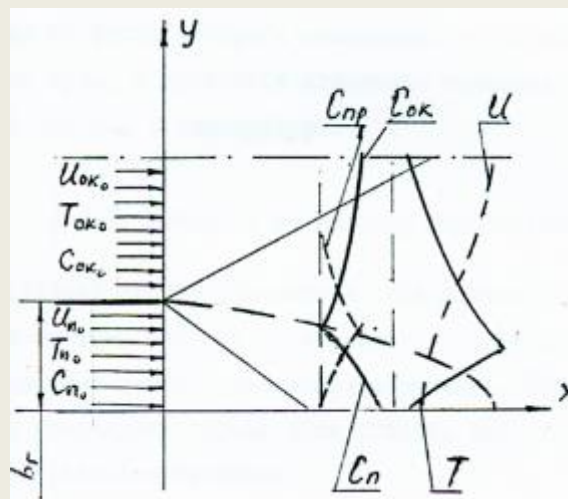
# СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА В СИСТЕМІ ПЛАСКО-ПАРАЛЕЛЬНИХ СТРУМЕНІВ

Система пласко-паралельних струменів



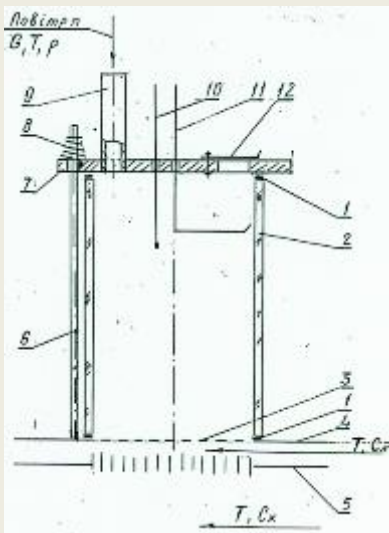
- 1 – фронт полум'я;
- 2 – швидкість.

Схема пограничного шару при наявності дифузійного фронту полум'я



# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ТВЕРДИХ ПАЛИВ В ПРЯМОТОЧНОМУ ШАРІ

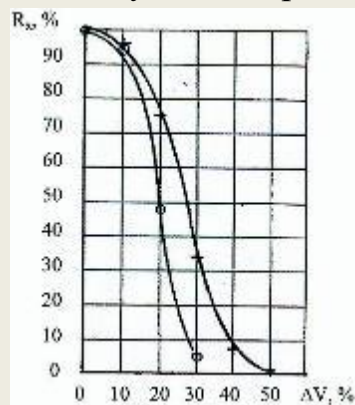
Експериментальна установка для дослідження процесу спалювання твердого палива в затисненому шарі



Тверде паливо, яке використовувалось в дослідіах

№	Вид палива	Розмір фракції, мм
1	Береза	14x14x14
2	Береза	13x13x13
3	Береза	12x12x12
4	Береза	8x8x8
5	Лузга гречки	4x4x2
6	Лузга проса	2x2x1
7	Лузга вівса	8x2x1,5
8	Кам'яне вугілля	до 6
9	Антрацит	до 6

Інтегральна крива розподілу маси деревинних кубиків за розміром

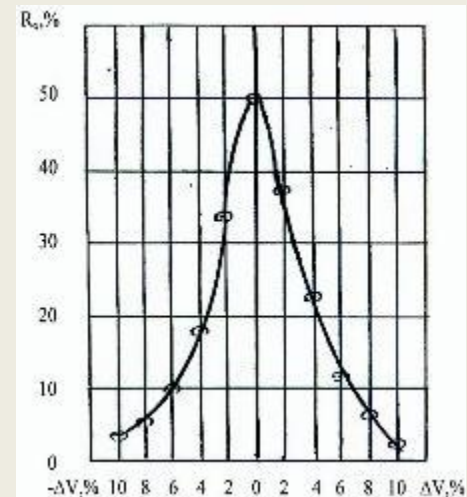


o – 14x14x14

+ – 13x13x13;

$$\Delta V = \frac{V}{V_{\min}} 100, \%$$

Розподіл деревинних кубиків за розміром



o –

14x14x14;

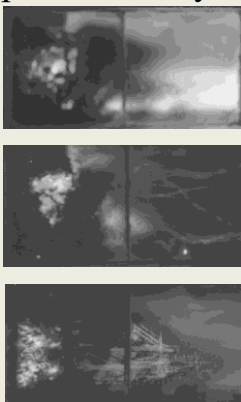
$$\Delta V = \frac{V}{V_{cp}} 100, \%$$

Товщина кисневої зони затисненого шару при різних паливах

№ з/п	Паливо	V <sub>л</sub> , %	Висота кисневої зони
1.	Кам'яне вугілля	21,95	1,7 δ <sub>01</sub>
2.	Антрацит	6,82	1,5 δ <sub>01</sub>
3.	Лузга	70 - 76	2 - 3 δ <sub>01</sub>
4.	Деревина	80 - 90	3 - 4 δ <sub>01</sub>

# ГОРІННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА В ПРЯМОТОЧНОМУ ШАРІ

Процес горіння біомаси у прямооточному шарі



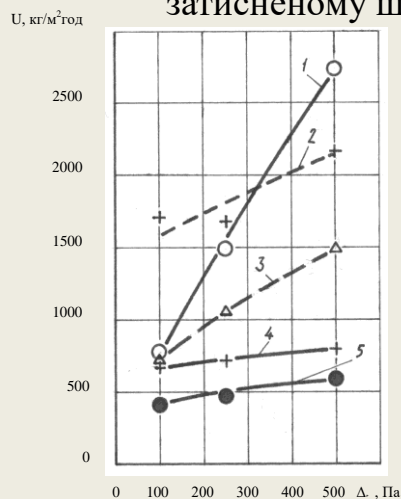
Швидкість горіння твердого палива в прямооточному шарі

№ з/п	Паливо	Насипна густина кг/м <sup>3</sup>	Швидкість горіння, кг/м <sup>2</sup> год.		
			При $\Delta P=100$ Па	При $\Delta P=250$ Па	При $\Delta P=500$ Па
1	Кам'яне вугілля	615	351	-	-
2	Антрацитовий штиб - АШ	620	297	-	-
3	Деревина(береза)	178,46	662,85	712	786,44
4	Тирса (дуб + сосна)	122,46	383,91	-	836
5	Тирса (дуб)	187,69	283,72	-	-
6	Хвоя (ялина лапник)	113,84	1486	-	-
7	Листя (клен)	23,85	1083,33	-	-
8	Студки каштану	130	344,89	-	-
9	Лузга гречки	134,1	412,97	469,33	586,5
10	Лузга проса	219,48	957,89	-	1268
11	Лузга вівса	177,4	832	-	1004,34
12	Лушпиння соняшника	84,61	628,57	-	-
13	Студки квасолі	90	-	-	477,55
14	Стрижні кукурудзи	130	247,41	-	-
15	Горох (зерно)	846,66	676,97	1070	1489,19
16	Пшениця (зерно)	719,99	1712,72	1681,07	2169,76
17	Солома пшениці	66,15	700	-	1760
18	Костриця льону	195,12	779,1	1494,11	2733,33
19	Костриця льону + хоріння + клоччя	178,15	-	-	2290
20	Кріп	66,92	-	-	1160
21	Стебло соняшника	63,07	443,24	-	-
22	Папір газетний	18,46	600	-	-
23	Папір крейдяний	30,0	888,88	-	-
24	Торф	458,08	-	1292	-

Швидкість горіння брикетів з дрібнодисперсної біомаси в прямооточному шарі

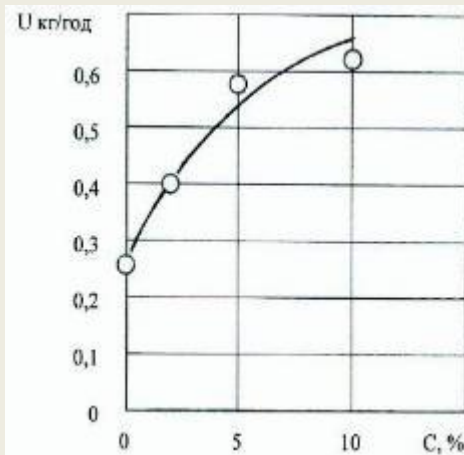
№ п/п	Склад брикету	Швидкість горіння, кг/м <sup>2</sup> год. при $\Delta P=100$ Па	
		Відходи біомаси	Брикет
1	Солома	700	351
2	Овес Парафін	832	102,296
3	Овес Торф	832	94,85
4	Овес Деревина Парафін	832	84,183

Швидкість горіння біомаси залежно від її виду та перепаду тиску повітря на затисненому шарі.



- 1 - костриця льону,
- 2 - пшениця,
- 3 - горох,
- 4 - береза,
- 5 - лузга гречки.

Вплив добавки формостабілізуючого інгредієнта на швидкість горіння окремого брикету



## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ В ЗАТИСНЕНОМУ ШАРІ ТА ДОПАЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ ПЛАСКО-ПАРАЛЕЛЬНИХ СТРУМЕНІВ В РЕЖИМІ САМОЗАЙМАННЯ

- Температура горючих газів за затискною решіткою залежала від перепаду тиску на затисненому шарі. Так при  $\Delta P = 50$  Па температура газів  $t = 800^{\circ}\text{C}$ , при
- $\Delta P = 300$  Па температура газів  $t = 1090^{\circ}\text{C}$ .
- Був визначений склад горючих газів перед їх допалюванням. Склад визначався при температурі  $860^{\circ}\text{C}$ .
- Склад газів наступний, за об'ємом при температурі  $t = 860^{\circ}\text{C}$ :

• діоксид вуглецю $\text{CO}_2$	- 14,5%;
• оксид вуглецю $\text{CO}$	- 8,41%;
• метан $\text{CH}_4$	- 0,43%;
• водень $\text{H}_2$	- 2,07%;
• кисень $\text{O}_2$	- 3,3%.
- Наявність кисню в горючих газах виносу показує на малий час їх перебування в зоні горіння.
- Після догорання в системі пласко-паралельних струменів, паливо згоряло повністю. Кількість діоксиду вуглецю  $\text{CO}_2$  сягала 16,9%.
- Швидкість горіння, яка була при цьому досягнута, складає  $600 \text{ кг/м}^2\text{год}$ , при цьому теплова напруга дзеркала горіння була  $1987 \text{ кВт/м}^2$ .
- Теплова напруга дзеркала горіння при спалюванні гречаної лузги сягала  $2600 \text{ кВт/м}^2$  при тій же швидкості горіння.

**Висновки.** Створений двостадійний процес горіння твердого палива, ефективність якого не залежить від паливних характеристик палива.