



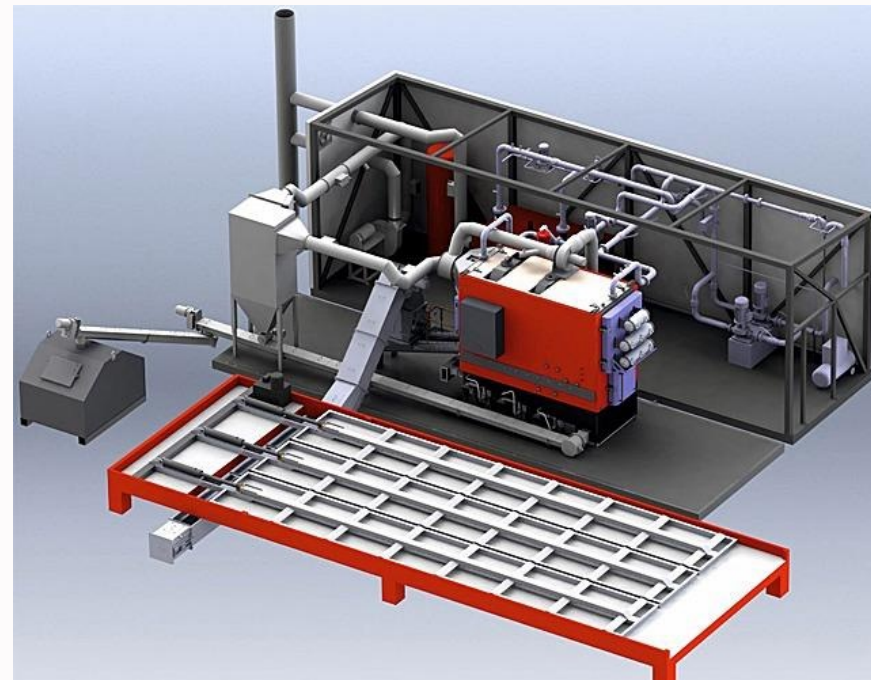
European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Використання твердої біомаси як палива на котельних

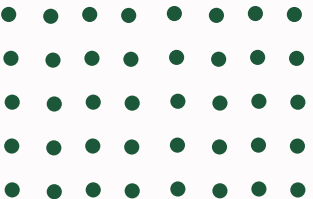
Володимир Крамар, к.т.н.,
ТОВ «НТЦ «Біомаса»,
Біоенергетична асоціація
України





Зміст

- 01** Фізико-хімічні основи спалювання біомаси
- 02** Класифікація та описання основних технологій спалювання біомаси
- 03** Використання твердої біомаси в централізованому тепlopостачанні
- 04** Теплові акумулятори та теплоутилізатори
- 05** Використання твердої біомаси в промисловості та сільському господарстві
- 06** Приклади впроваджених проєктів енергетичного використання твердої біомаси
- 07** Особливості використання твердої біомаси як палива



Хімічний склад основних видів біомаси

Вид палива	Мул	Деревина	Трава	Солома	Лушпиння	Кора	Торф	Вугілля
Волога (W), мас%	64,3	15,9	30,7	10,4	9,0	13,0	41,2	8,1
Зола (A), мас% dry	19,4	0,6	3,6	8,6	10,8	3,7	5,5	11,8
Леткі, мас% daf	87,8	84,1	83,5	81,1	79,8	76,5	73,9	38,4
$Q_{в}^p$, МДж/кг daf	18,8	20,3	19,7	19,5	20,5	21,3	22,9	33,8
$Q_{н}^p$, МДж/кг daf	17,9	19,0	18,5	18,1	19,1	19,7	21,4	31,1
C, мас% daf	51,2	51,2	49,6	48,8	50,4	53,8	57,4	79,4
H, мас% daf	6,24	6,15	5,72	5,99	6,28	5,84	6	5,29
O, мас% daf	41,4	42,4	43,9	43,9	42,6	40	35,5	12,2
N, мас% daf	<1,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<0,5	1,9	1,5
S, мас% daf	<1,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,3	1,4
Cl, мас% daf	0,43	0,027	0,196	0,496	0,143	0,022	0,059	0,25
Si, мг/кг dry	46000	Н/Д	6775	17025	14000	422	12615	25148
Al, мг/кг dry	27700	Н/Д	100	1579	2700	188	4181	13123
Fe, мг/кг dry	1747	Н/Д	109	1417	2300	90	6387	7255
Ca, мг/кг dry	88600	Н/Д	1273	4694	13000	13622	6200	5421
Mg, мг/кг dry	2870	Н/Д	534	1818	5100	728	634	1666
Na, мг/кг dry	1725	30	319	610	1090	40	144	1142
K, мг/кг dry	1652	680	7633	11634	22233	1627	548	1287

dry – на суху масу; daf – на суху беззольну масу

Вища теплота згорання палива $Q_{в}^p$ – теплота, що виділяється при повному окисленні горючих складових палива, плюс теплота, що виділяється при конденсації водяної пари, що міститься в продуктах згорання палива.

Нижча теплота згорання палива $Q_{н}^p$ – теплота, що виділяється при повному окисленні всіх горючих складових палива.

Фізико-хімічні основи спалювання біомаси

Основними компонентами клітин деревини є целюлоза $(C_6H_{10}O_5)_n$, геміцелюлоза і лігнін $(C_{40}H_{44}O_6)$, які складають близько 99% ваги деревного матеріалу.

Горючі речовини твердого палива можна розділити на дві групи: **леткі речовини** та горючі компоненти у вигляді **твердого вуглецю**.

Леткі речовини - це газоподібна фаза, що утворюється в результаті термічної деградації матеріалу. Їх можна розділити на дві частини: легкі леткі речовини та смоли, що складаються з більших молекул, які конденсуються при температурі навколишнього середовища. Частка летких речовин у біомасі зазвичай висока (70-85%).

Розрізняють три основних способи розрахунку складу палива- **на робочу масу, на суху масу, на суху беззольну масу**.

Вища теплота згоряння (на суху масу):

$$Q_B^p = 0,3491 \cdot C + 1,1783 \cdot H + 0,1005 \cdot S - 0,0151 \cdot N - 0,1034 \cdot O - 0,0211 \cdot A \left[\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \text{dry} \right], \text{ де:}$$

C, H, S, N, O – вміст елементів, A- вміст золи, % на суху масу.

Перерахунок на нижчу теплоту згоряння:

$$Q_H^p = Q_B^p \cdot \left(1 - \frac{W}{100} - \frac{A}{100} \right) - 2442 \cdot \left\{ \frac{W}{100} + \frac{H \cdot 9}{100} \cdot \left(1 - \frac{W}{100} - \frac{A}{100} \right) \right\} \left[\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right], \text{ де:}$$

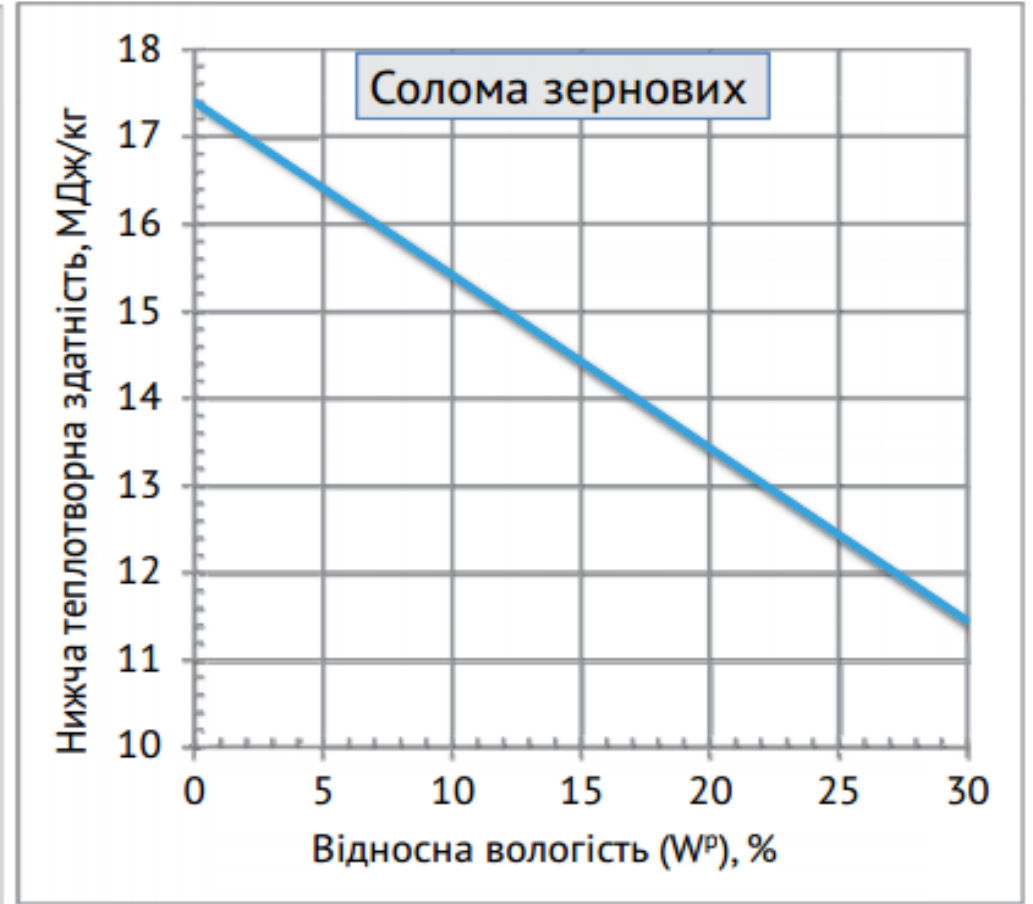
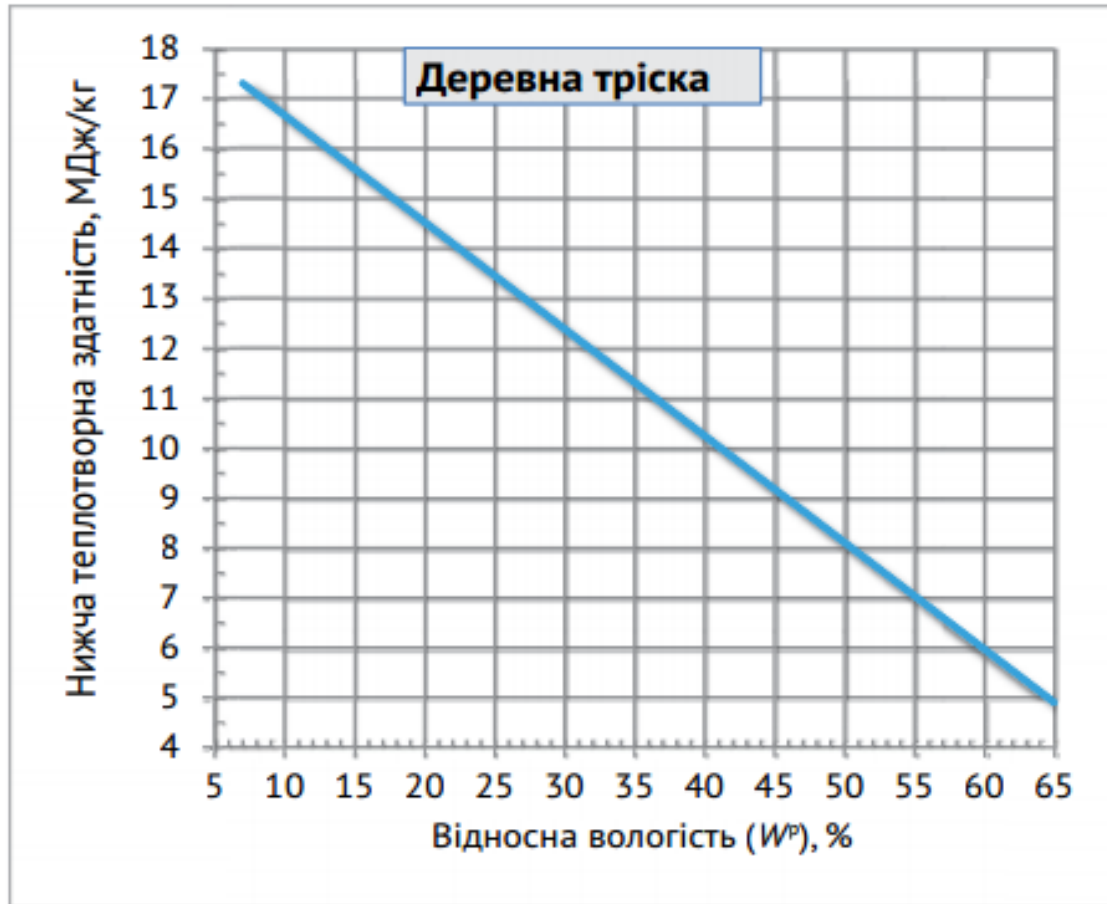
Q_H^p – нижча теплота згоряння, на робочу масу ; Q_B^p - вища теплота згоряння, на суху беззольну масу;

W- вміст води, % роб.мас; A- вміст золи, % роб.мас; H – вміст водню, % на суху беззольну масу.

Для спрощених розрахунків:

$$Q_H^p = 18581,3 - 210,2 \cdot W - 185,8 \cdot A \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], \text{ де } W, A- \% \text{ вміст води та зольність на робочу масу палива}$$

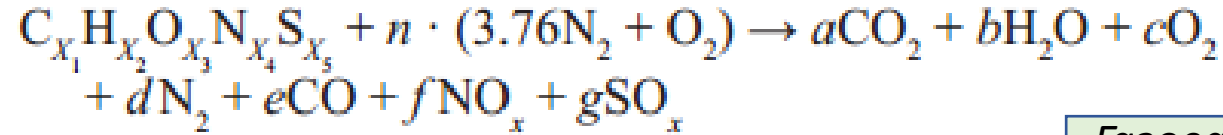
Вплив вологості на теплоту згоряння біомаси



- ❖ Відносна вологість палива – відношення маси води до всієї маси палива
- ❖ Абсолютна вологість палива – відношення маси води до маси сухого палива

Горіння шару біомаси

Горіння є екзотермічною реакцією між паливом і киснем з утворенням переважно вуглекислого газу та водяної пари:



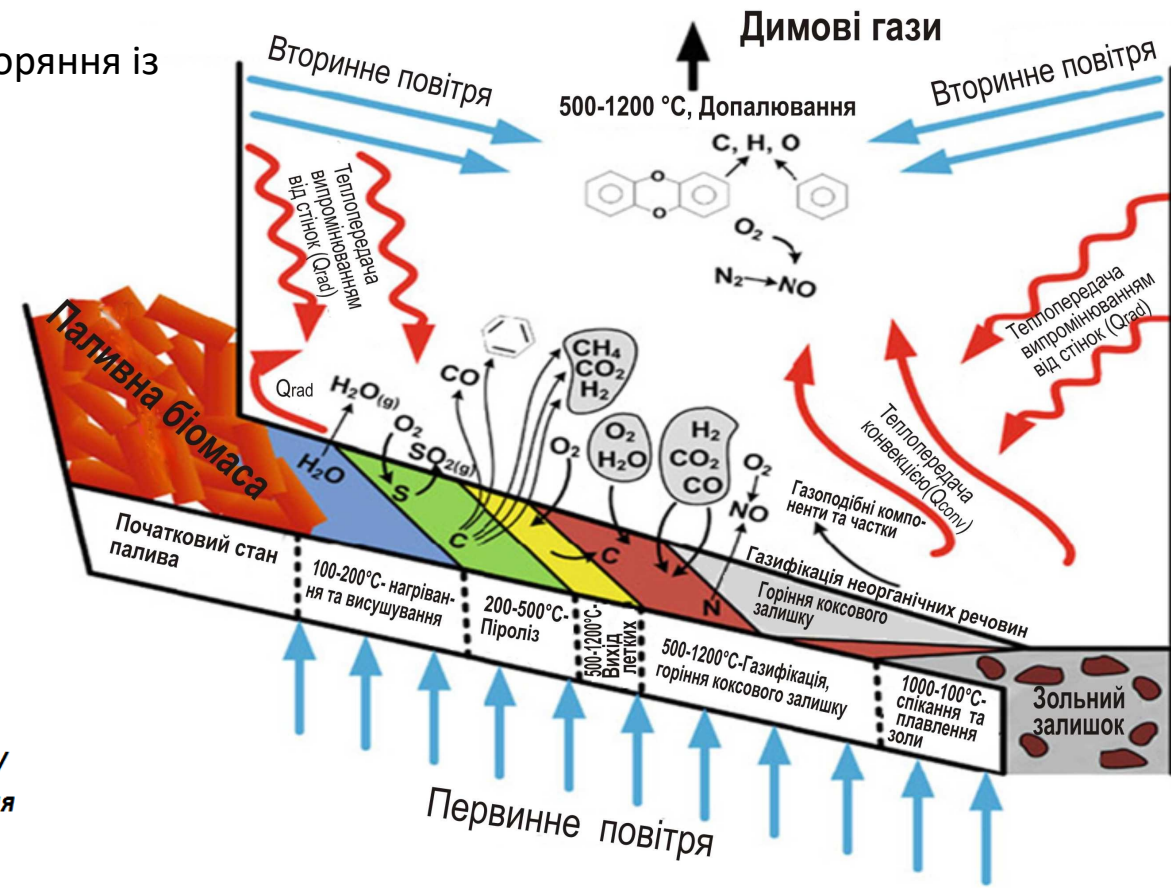
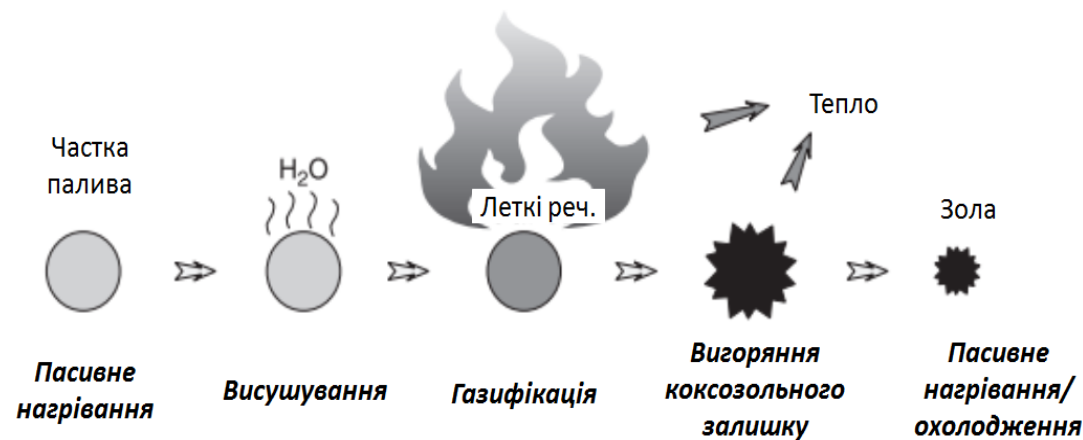
Для забезпечення горіння палива необхідні:

- ❖ підтримка в зоні горіння високої температури;
- ❖ забезпечення безперервної подачі в зону горіння палива і повітря;
- ❖ забезпечення хорошого їх перемішування;
- ❖ організація безперервного відведення продуктів згоряння із зони горіння.

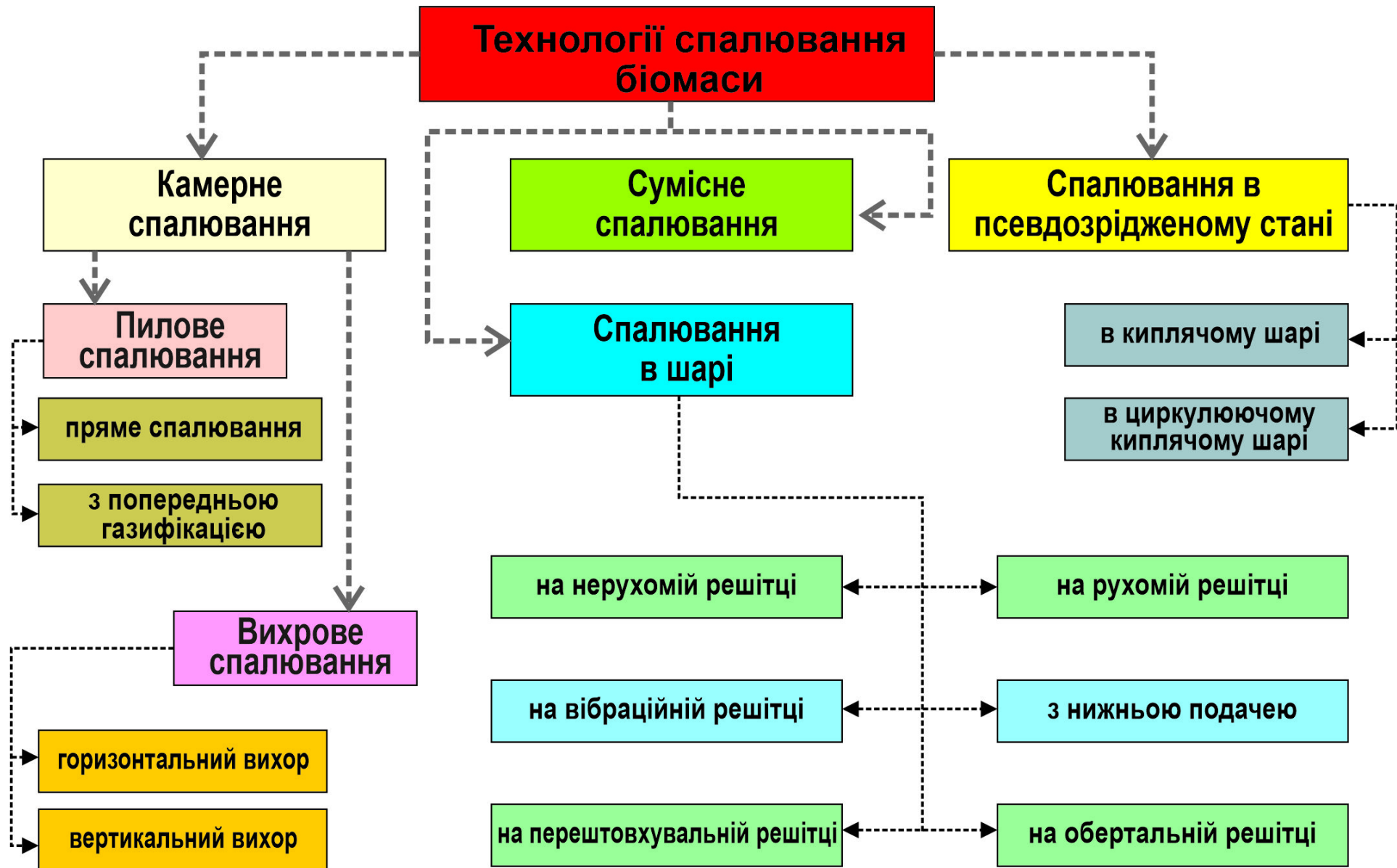
Газова фаза- Правило «трьох Т»:

- ✓ **Temperature** (температура)
- ✓ **Turbulence** (перемішування)
- ✓ **Time** (час)

Стадії горіння частки твердого палива.
Велика частка палива може проходити кілька стадій одночасно



Класифікація технологій спалювання біомаси

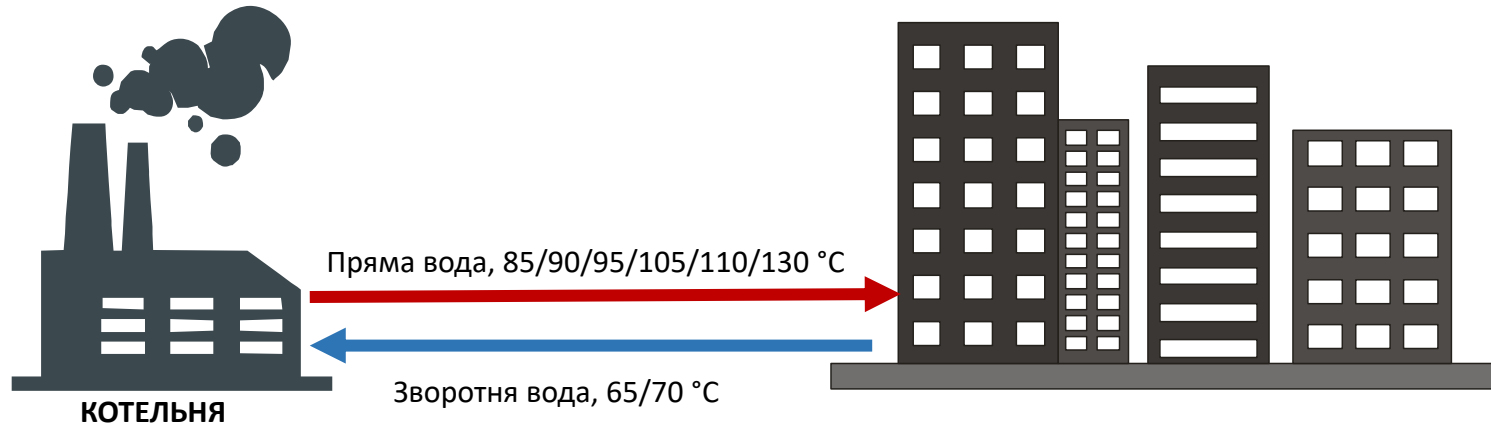


Технології спалювання біомаси за діапазонами потужності

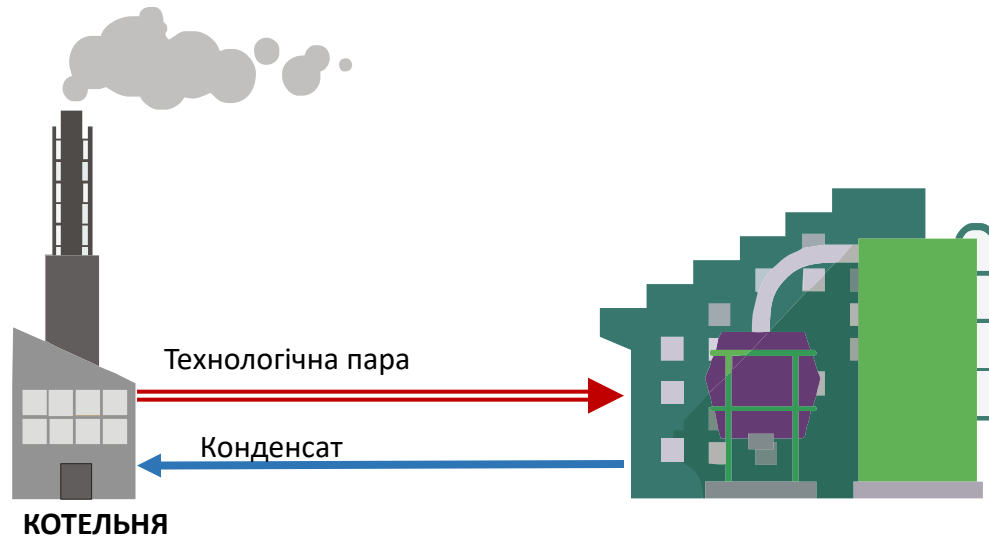
Застосування	Тип	Типовий діапазон потужності	Палива	Вміст золи	Вологість
Ручне завантаження	дров'яні печі	2 кВт-10 кВт	суха стовбурова деревина	<2%	5%-20%
	котли на дровах	5 кВт-більше 1 МВт	дрова, залишки деревини	<2%	5%-30%
Спалювання гранул	Пальники для гранул	2 кВт- 2,0 МВт	Гранули (переважно з деревини)	<2%	8%-10%
Автоматична подача палива	топки з нижньою подачею (реторта)	20 кВт-2,5 МВт	деревна тріска, деревні відходи, гранули	<2%	5%-50%
	топки з рухомими колосниками	150 кВт-15 МВт	всі види деревного палива та більшість видів біомаси	<50%	5%-60%
	предтопки з решіткою	20 кВт-1,5 МВт	суха деревина (залишки)	<5%	5%-35%
	предтопки циклонні	до 21 МВт	суха подрібнена біомаса	<5%	5%-30%
	нижня подача з обертовою решіткою	2 МВт-5 МВт	деревна стружка, високий вміст вологи	<50%	40%-65%
	сигарне спалювання	3 МВт-5 МВт	тюки соломи	<5%	20%
	спалювання цілих тюків	200 кВт-5 МВт	цілі тюки	<5%	20%
	топки для соломи	100 кВт-5 МВт	тюки соломи з подрібненням тюків	<5%	20%
	стаціонарний киплячий шар	5 МВт-15 МВт	різноманітна біомаса, d < 10 мм	<50%	5%-60%
	циркулюючий киплячий шар	15 МВт-100 МВт	різноманітна біомаса, d < 10 мм	<50%	5%-60%
	камерне пилове спалювання в потоці	5 МВт-10 МВт	різноманітна біомаса, d < 5 мм	<5%	<20%
	стаціонарний киплячий шар	Сумарно 50 МВт-150 МВт	різноманітна біомаса, d < 10 мм	<50%	5%-60%
Сумісне спалювання*	циркулюючий киплячий шар	Сумарно 100-300 МВт	різноманітна біомаса, d < 10 мм	<50%	5%-60%
	сигарне спалювання	Солома: 5 МВт-20 МВт	тюки соломи	<5%	20%
	пилове спалювання у вугільних котлах	Сумарно 100 МВт-1 ГВт	різноманітна біомаса, d < 2-5 мм	<5%	<20%

* Зазвичай біомаса становить менше 10% від загального споживання палива.

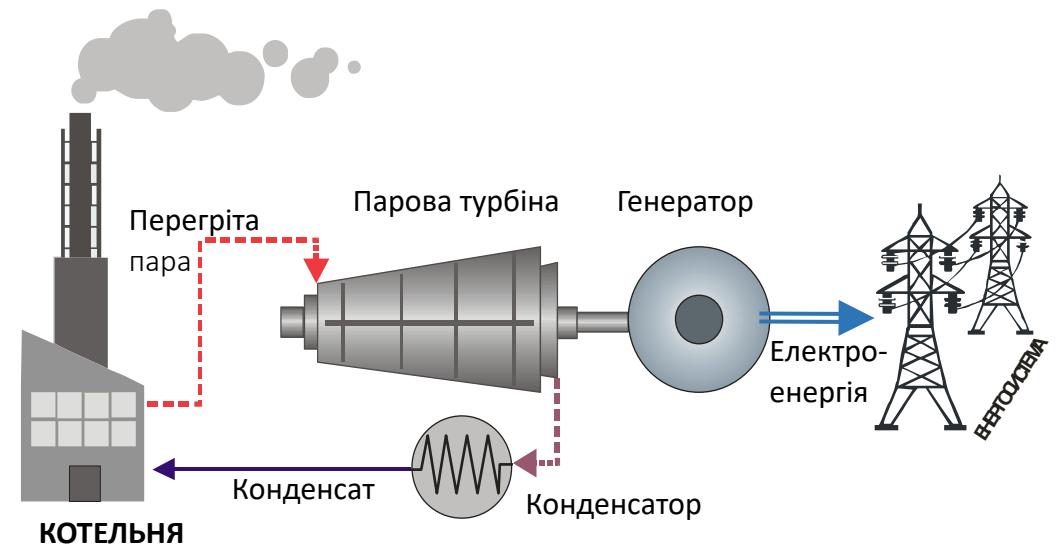
Які є котельні за потужністю та використанням



Опалювальні котельні. Працюють в опалювальний сезон (160-190 днів на рік), можуть працювати в неопалювальний сезон для забезпечення гарячого водопостачання. Теплоносій – вода. Теплова потужність 1-300 МВт

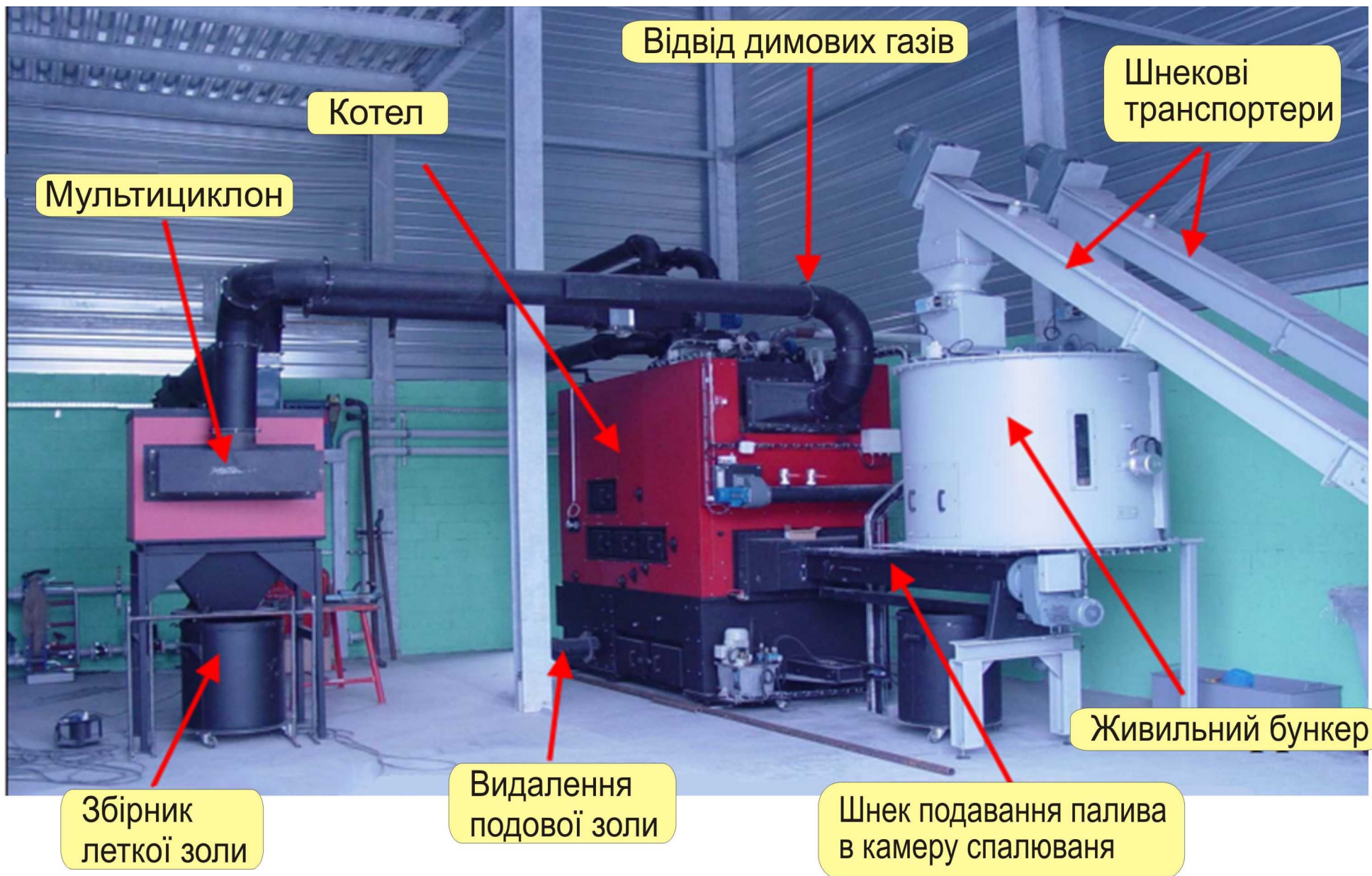


Виробничі котельні. Працюють тоді, коли працює підприємство- частину року або цілий рік. Теплоносій – найчастіше технологічна пара. Теплова потужність від 1 МВт



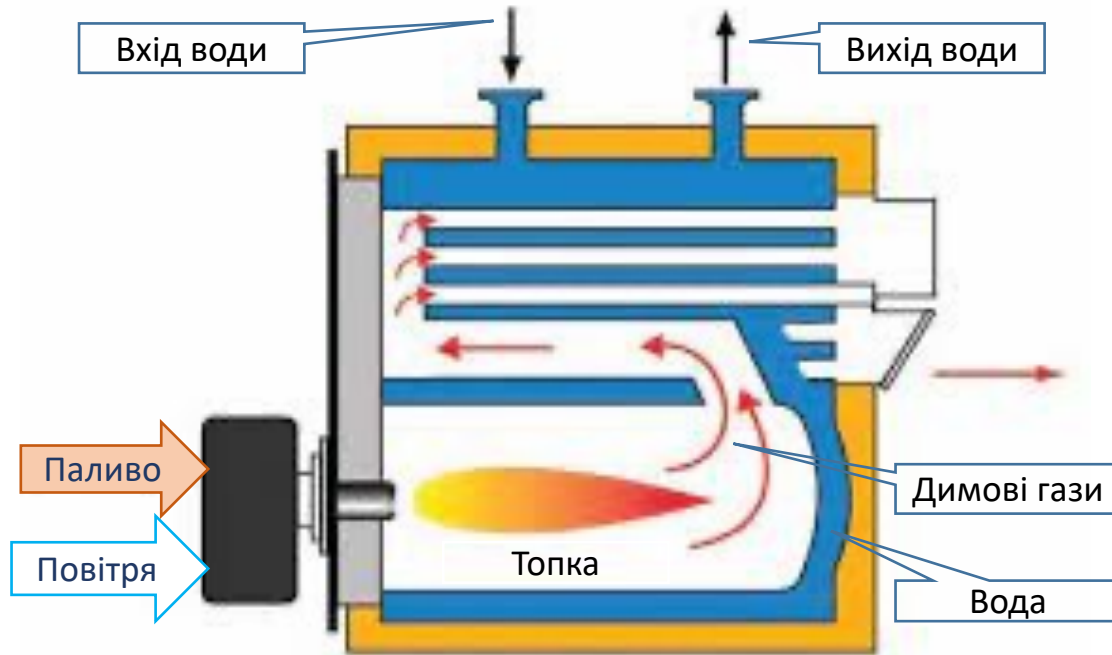
Котельні енергетичних підприємств (ТЕЦ, ТЕС). Працюють цілий рік. Теплоносій – перегріта пара. Теплова потужність одного котла може сягати сотень МВт

Котельні на біомасі – основні елементи

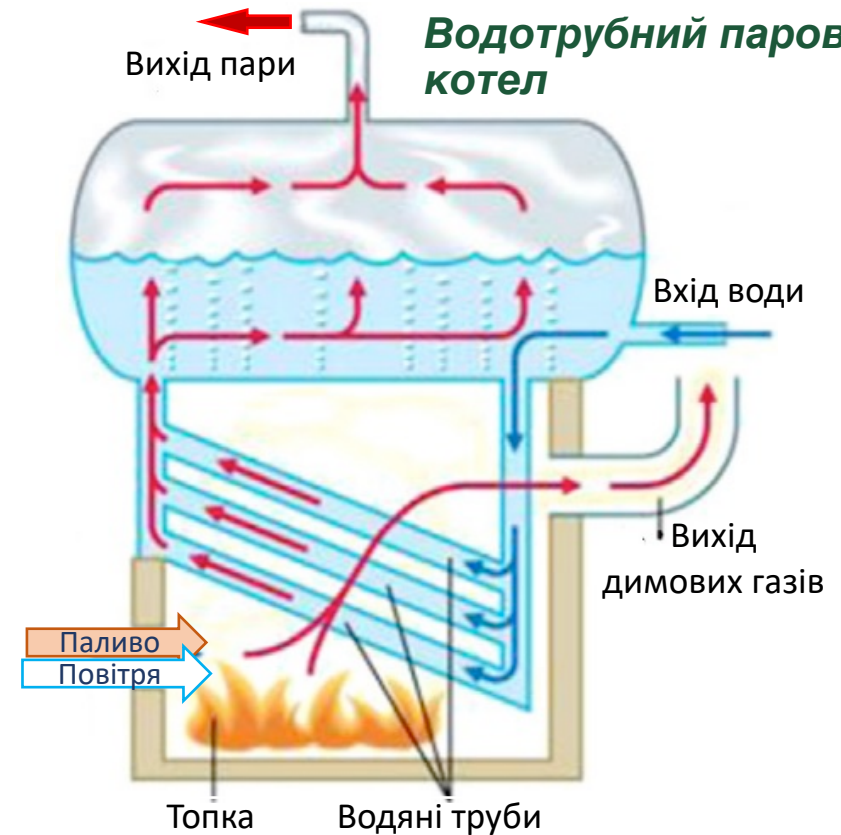


Основні типи котлів

Жаротрубний котел



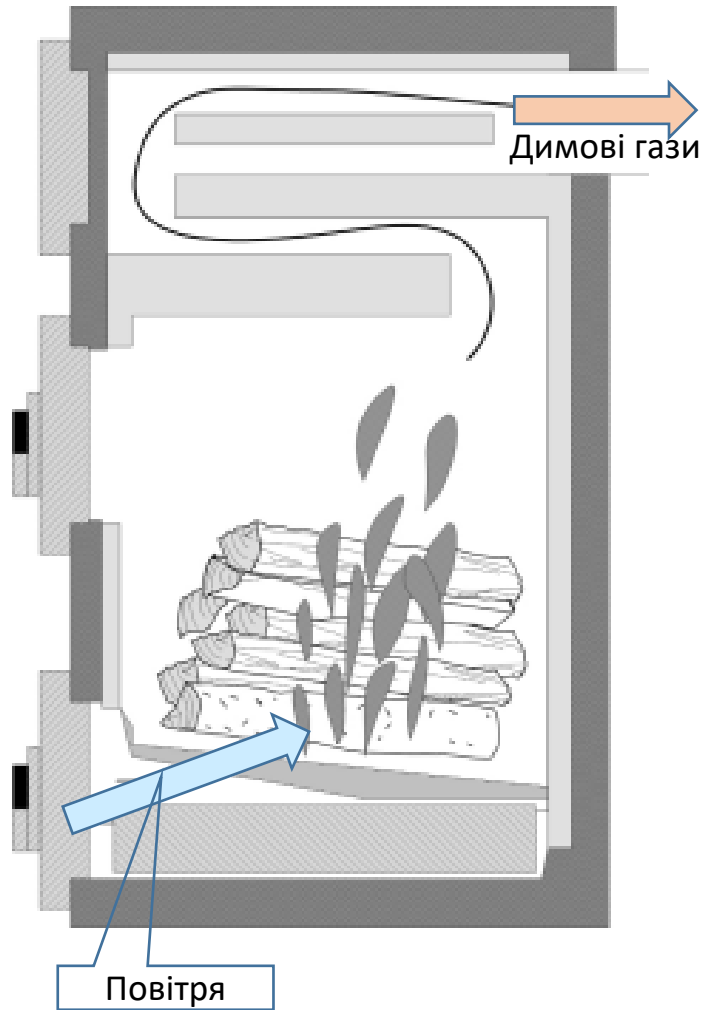
Водотрубний паровий котел



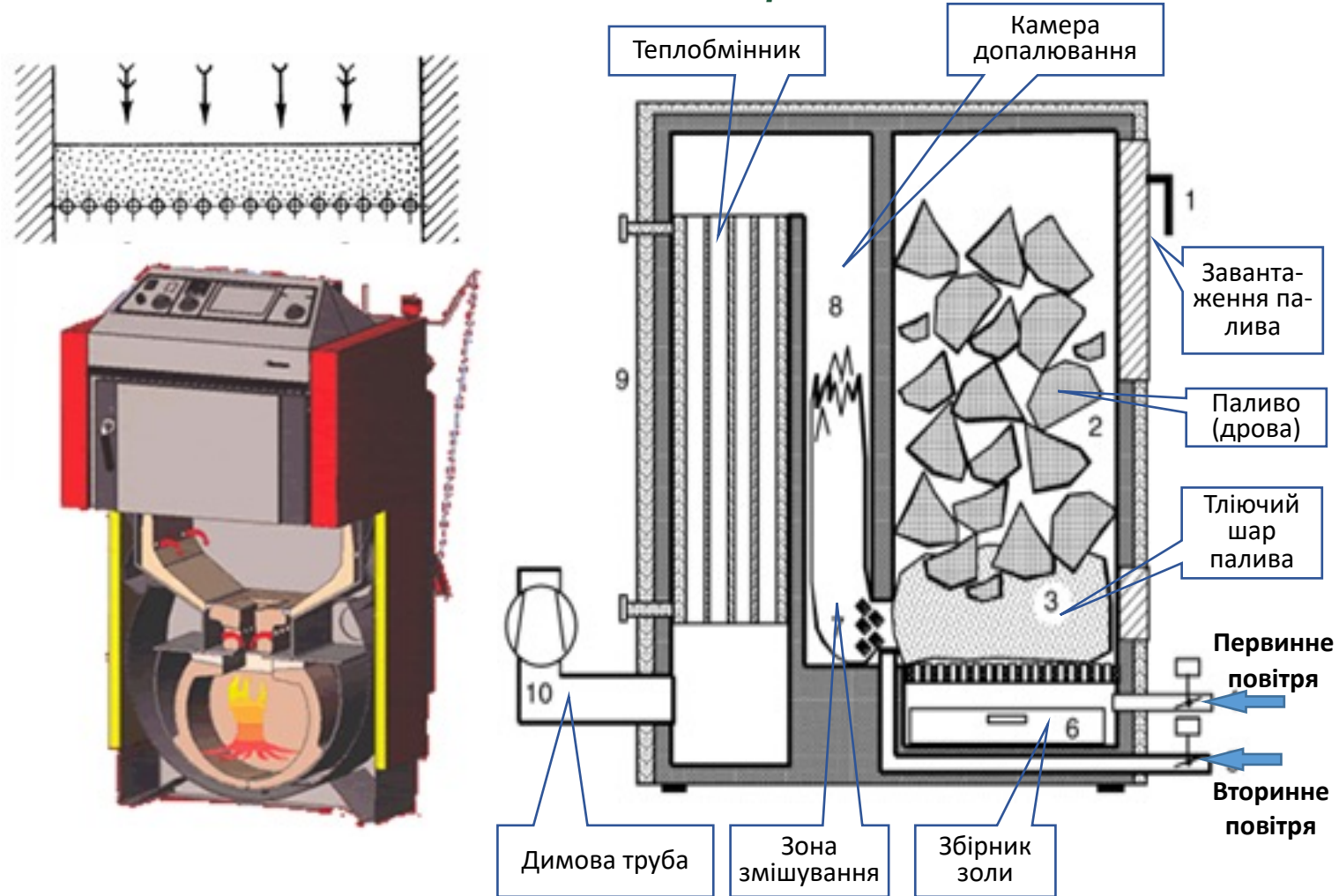
- Жаротрубний котел - монолітна компактна конструкція з відносно невеликими габаритними розмірами.
- Легкий доступ до топки і жарових труб для очищення, заміни турбулізаторів.
- Досить низький гідравлічний опір, внаслідок чого немає необхідності застосовувати потужні циркуляційні насоси.
- Аеродинамічний опір вищий, ніж у водотрубних котлів
- Високі вимоги (порівняно з котлами водотрубної конструкції) до якості котлової води (якісніша водопідготовка)
- Дуже мала швидкість теплоносія в жаротрубних котлах - пристінне кипіння та утворення відкладень, що діють як теплоізоляція і значно ускладнюють передачу тепла від металу до води, створюючи локальні перегріву.

Класифікація технологій спалювання біомаси: нерухомий шар палива

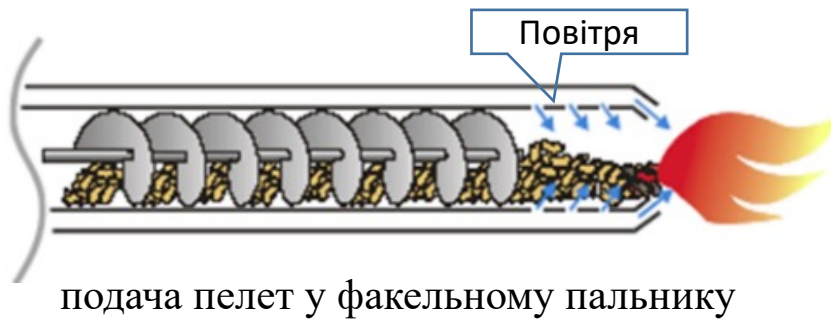
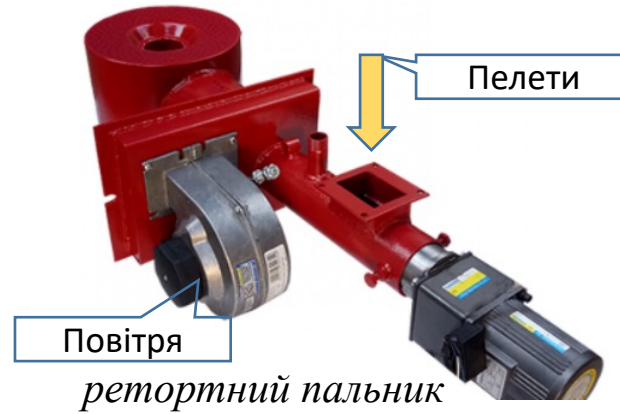
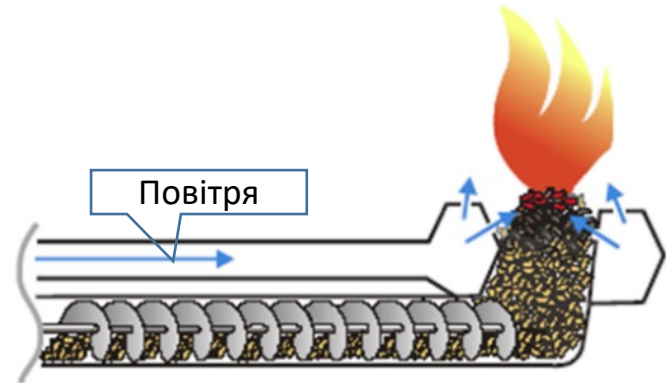
Котел верхнього горіння



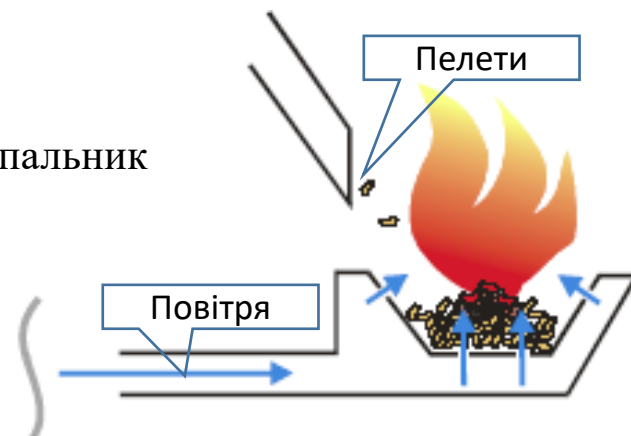
Котел нижнього горіння



Спалювання деревних гранул (пелет)



«камінний» пелетний пальник
(верхня подача пелет)



Модульні пелетні котельні

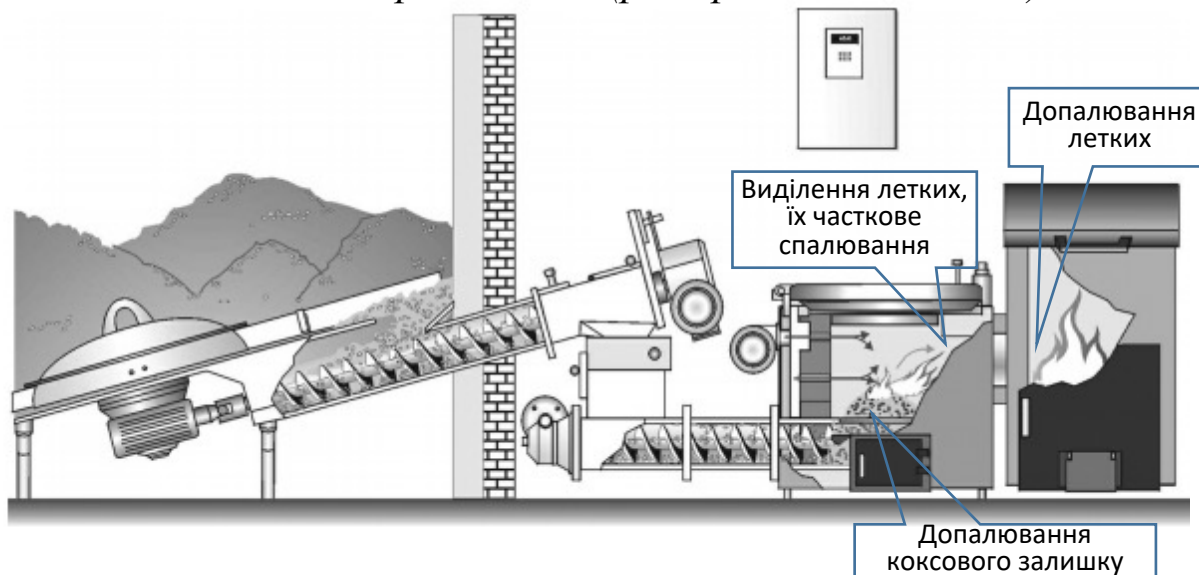
Модульна котельня компанії PPEngieniring



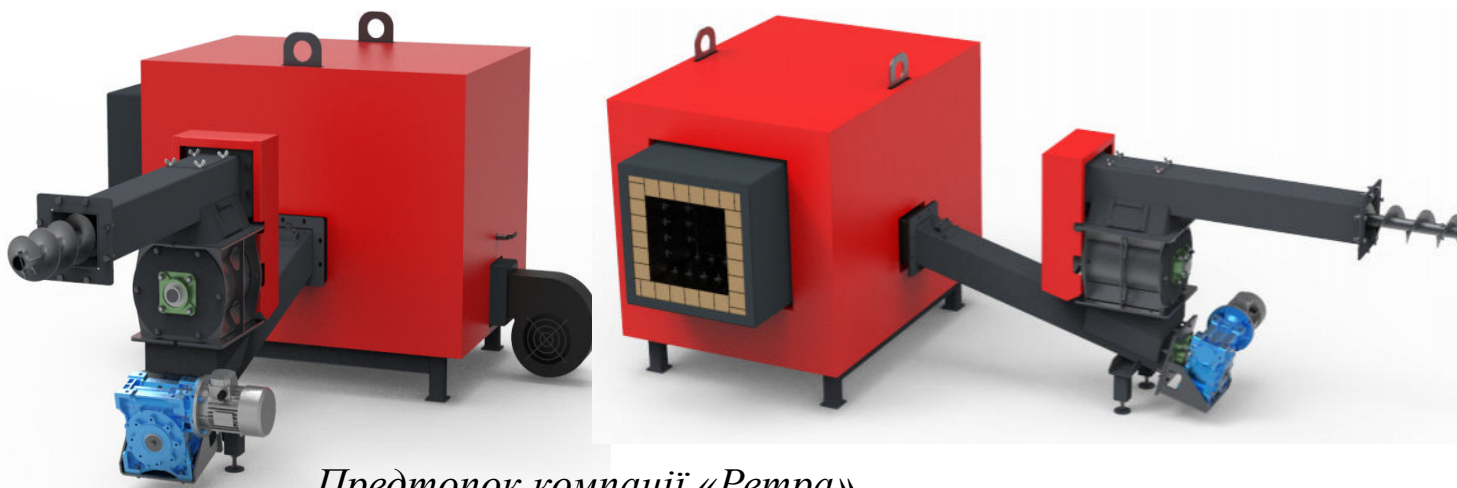
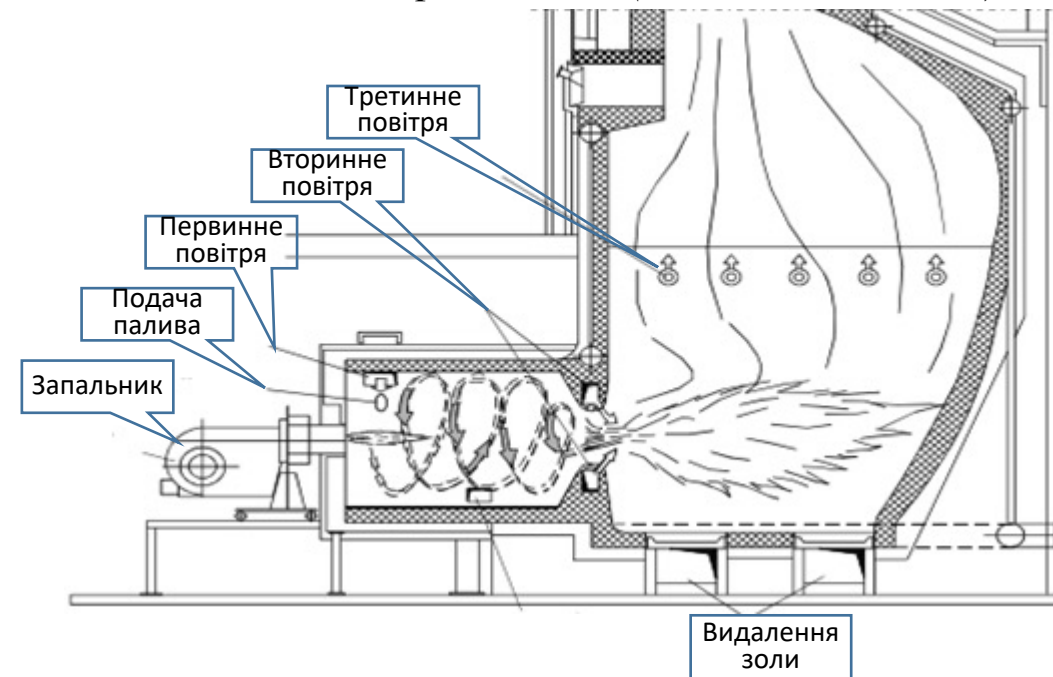
Компонування модульної котельні

Предтопки для спалювання біомаси

Котел з предтопком (ретортне спалювання)



Котел з предтопком (пилове спалювання)

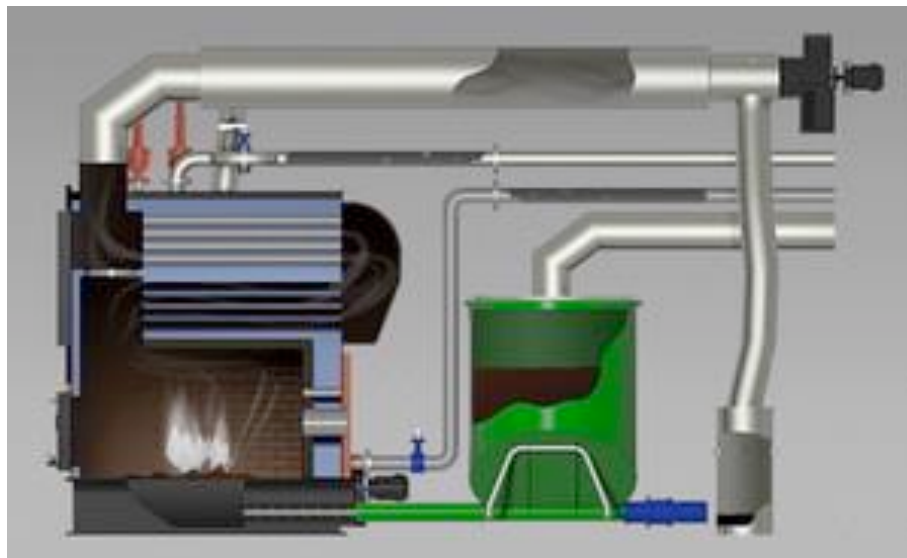


Предтопок компанії «Ретра»

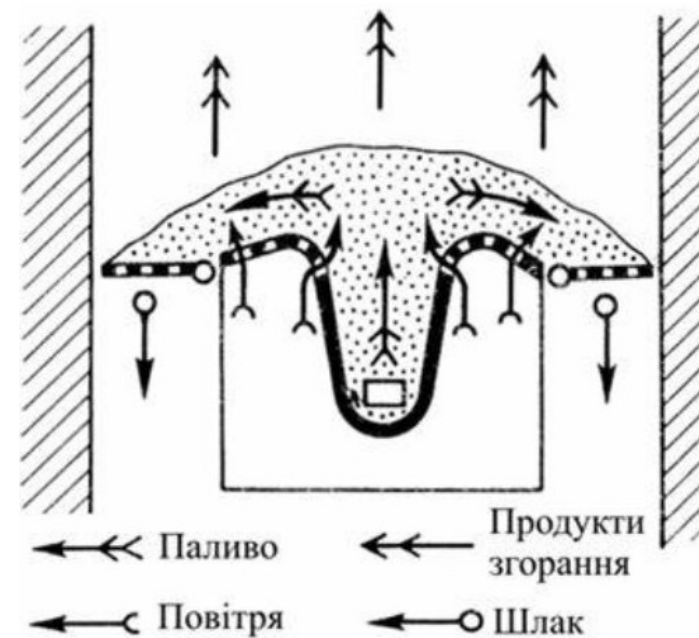
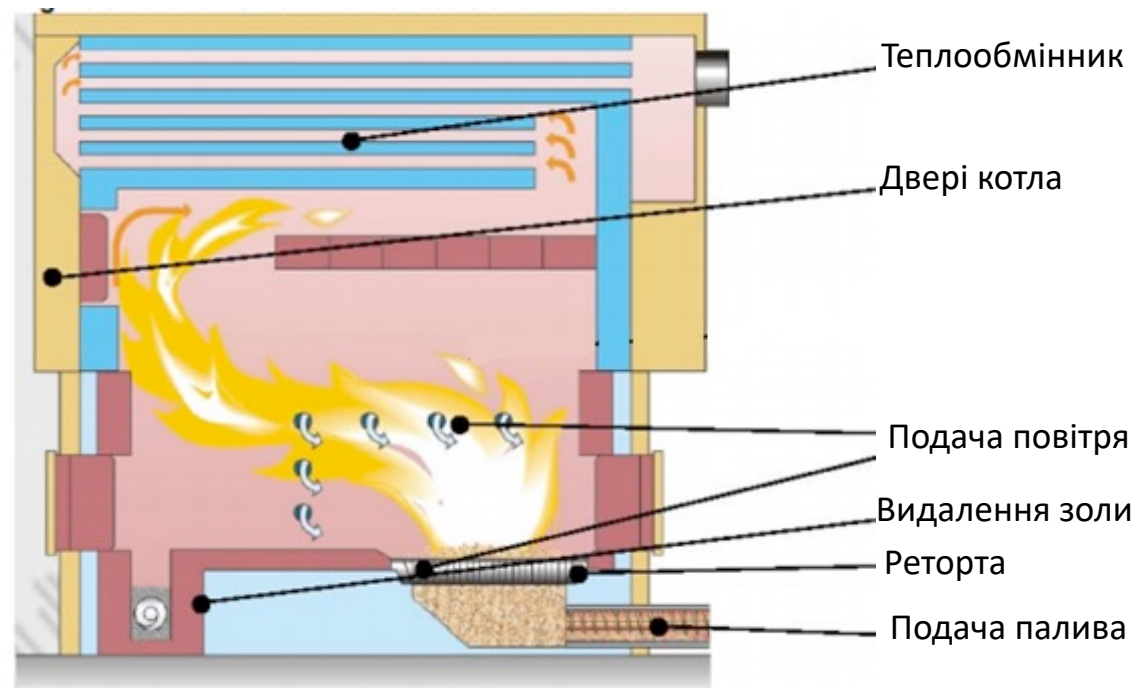


Вихровий предтопок

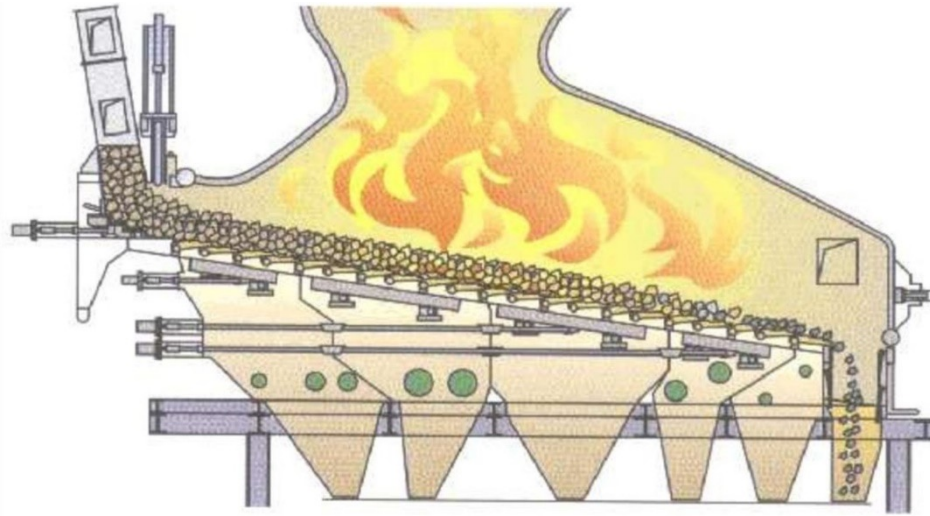
Котли з ретортним спалюванням



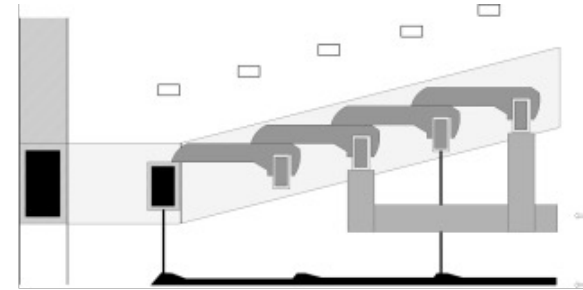
Реторта



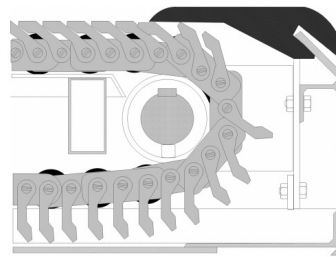
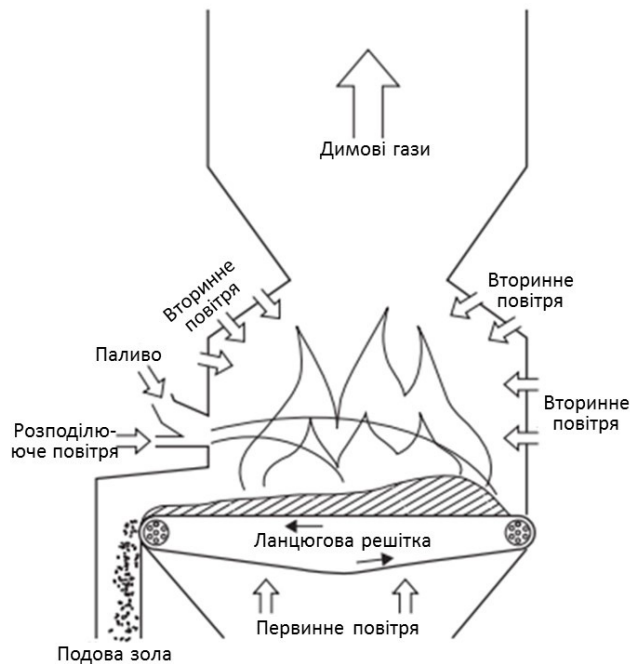
Спалювання на рухомій колосниковій та вібраційній решітках



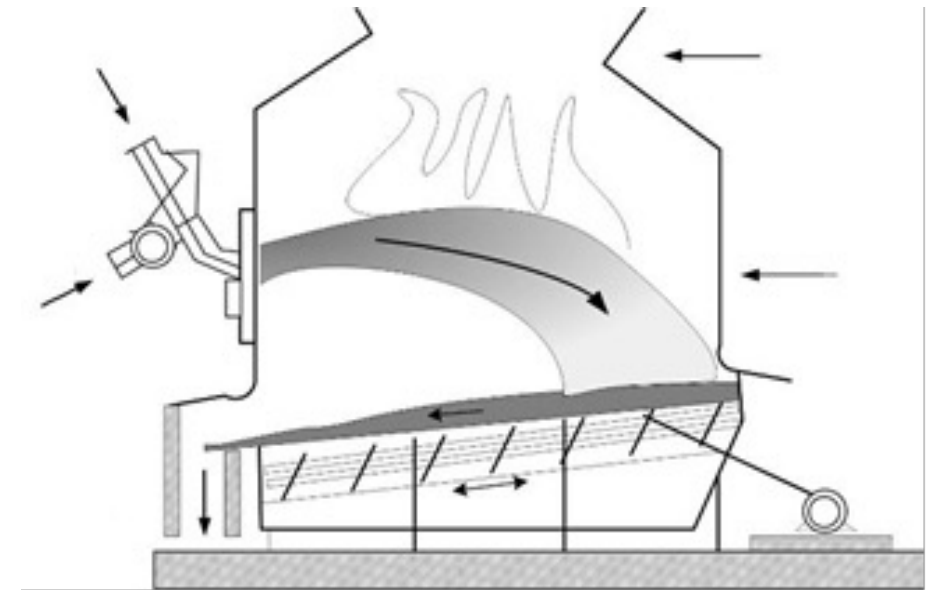
а) Похила перештовхувальна колосникова решітка



Елемент похилої перештовхувальної решітки



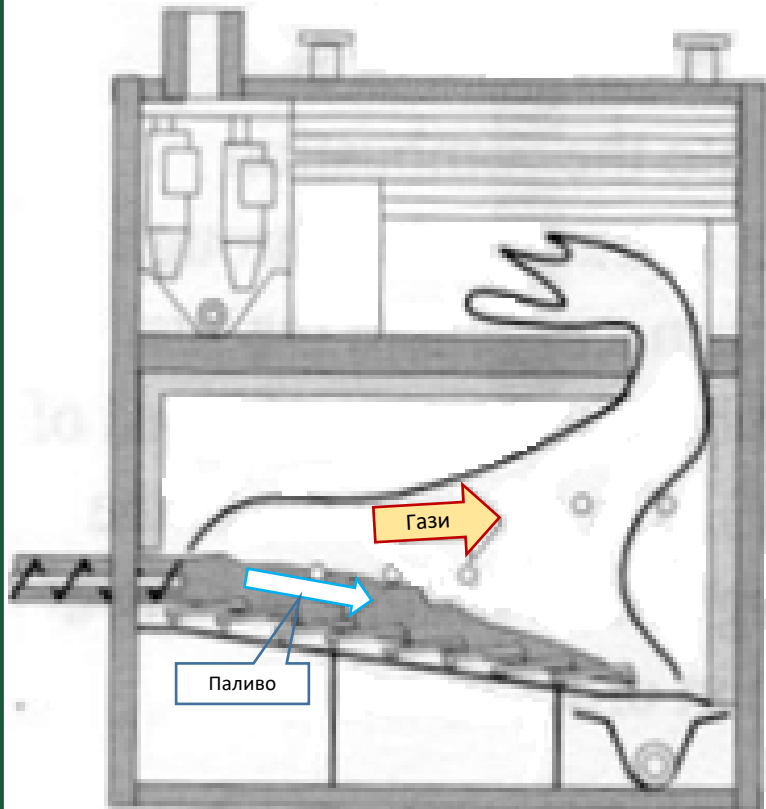
б) Горизонтальна перештовхувальна решітка



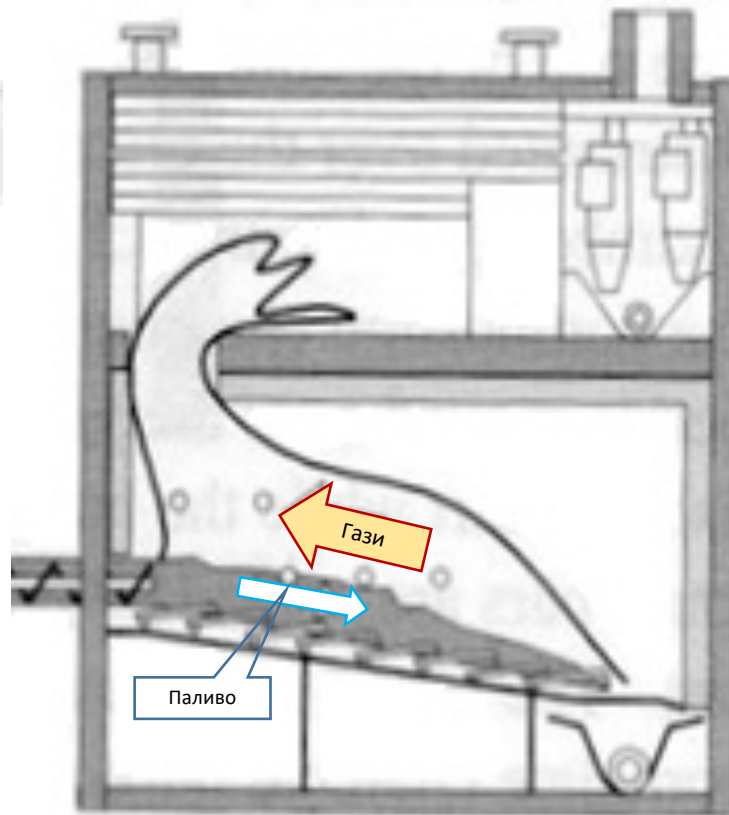
в) Спалювання на вібраційній решітці з пневмозакидачем палива

Організація руху газів при спалюванні біомаси на ґратах

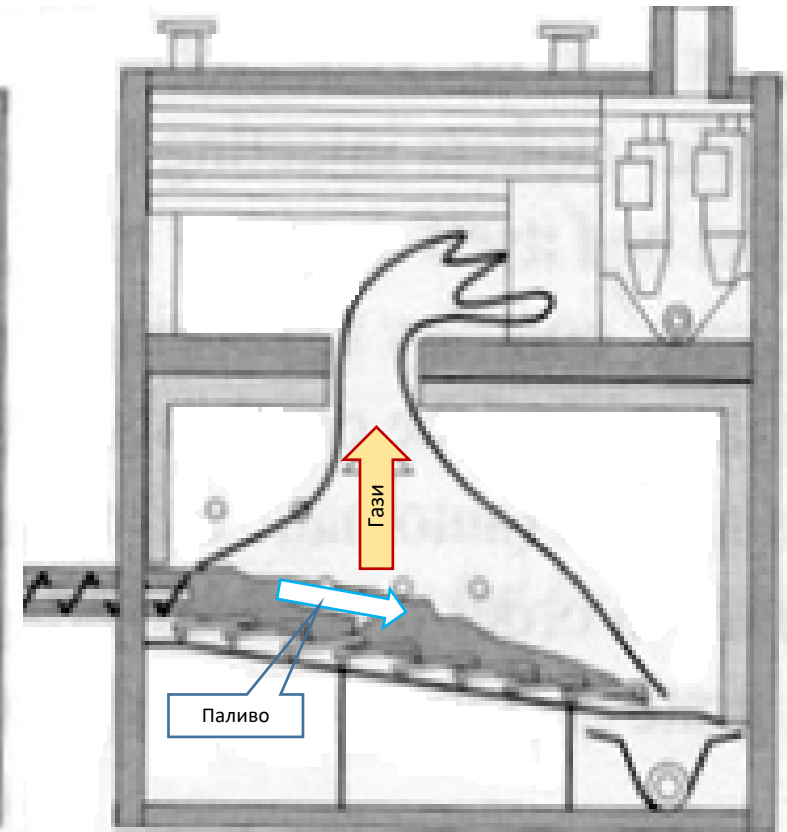
Прямотечійне



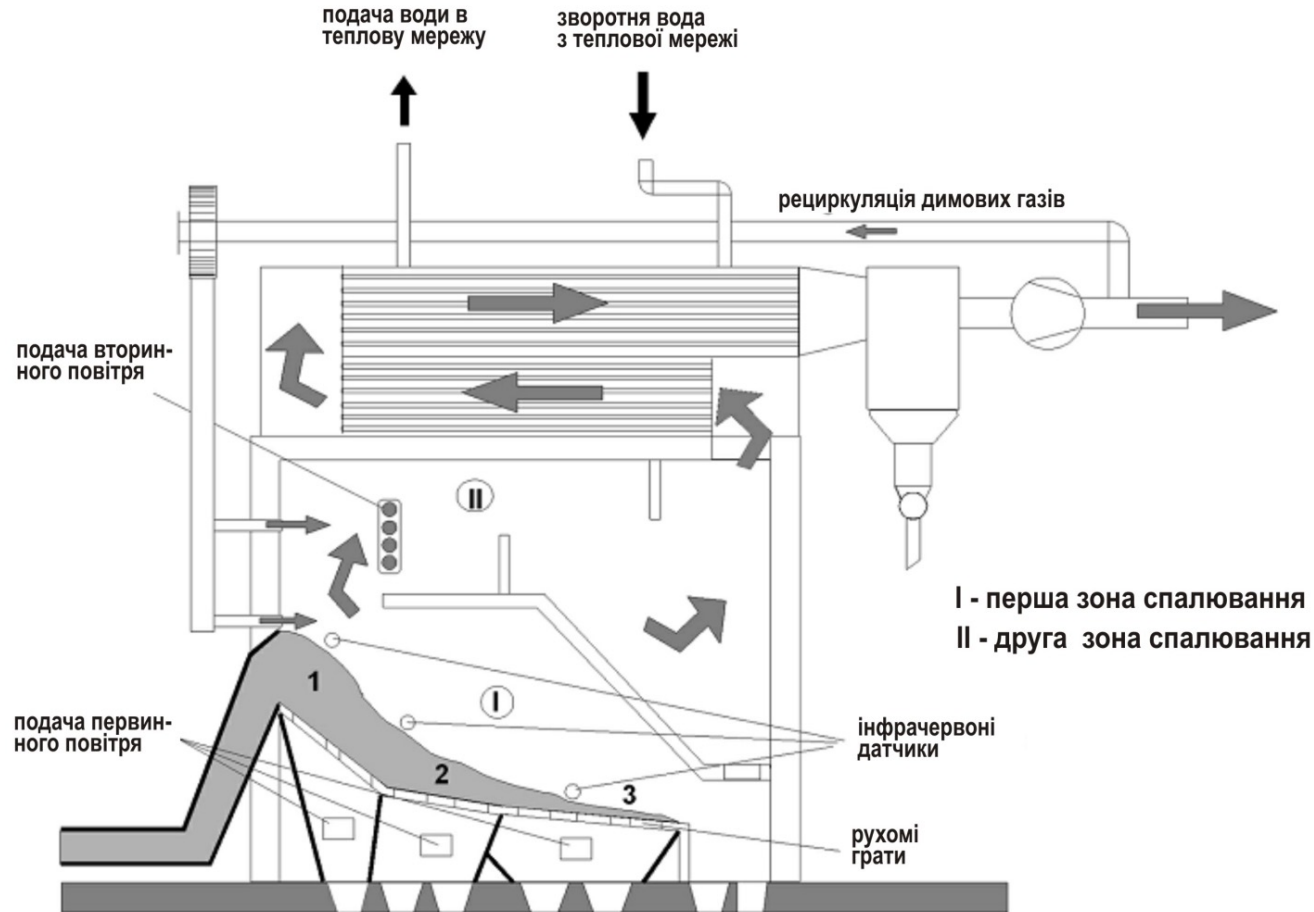
Протитечійне



Перехресне

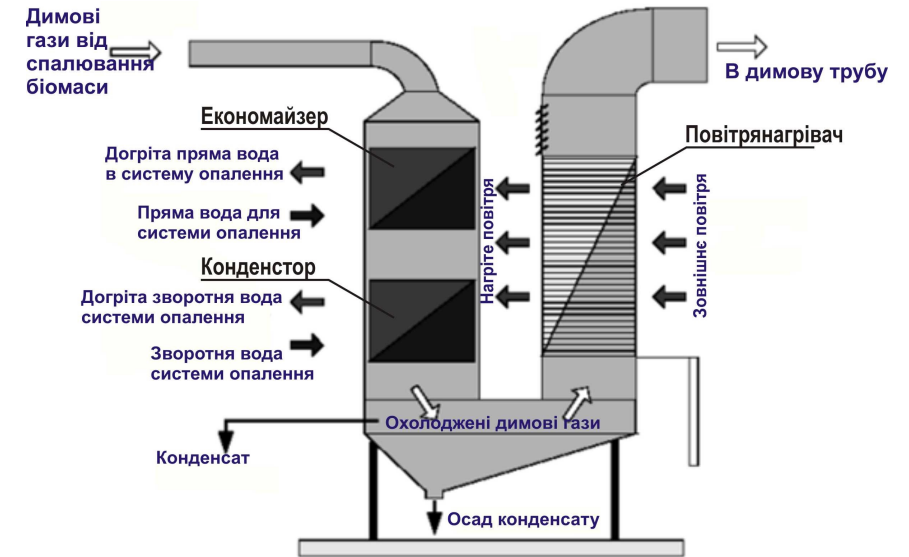


Сучасна технологічна концепція спалювання біомаси на решітці

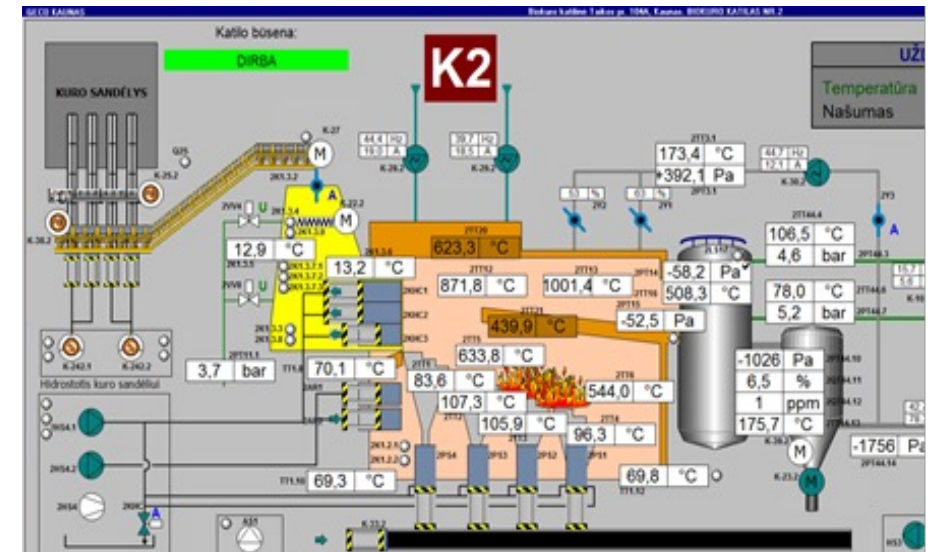


- ❖ Водяне охолодження стінок топки
- ❖ Рециркуляція димових газів в топку
- ❖ Водяне охолодження колосників решітки
- ❖ Обмурівка

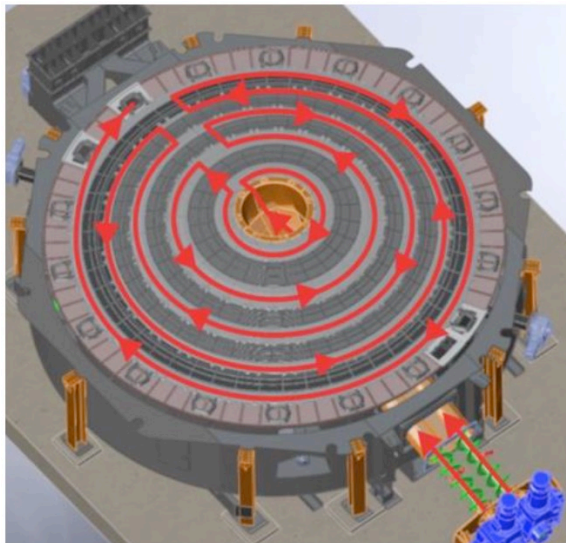
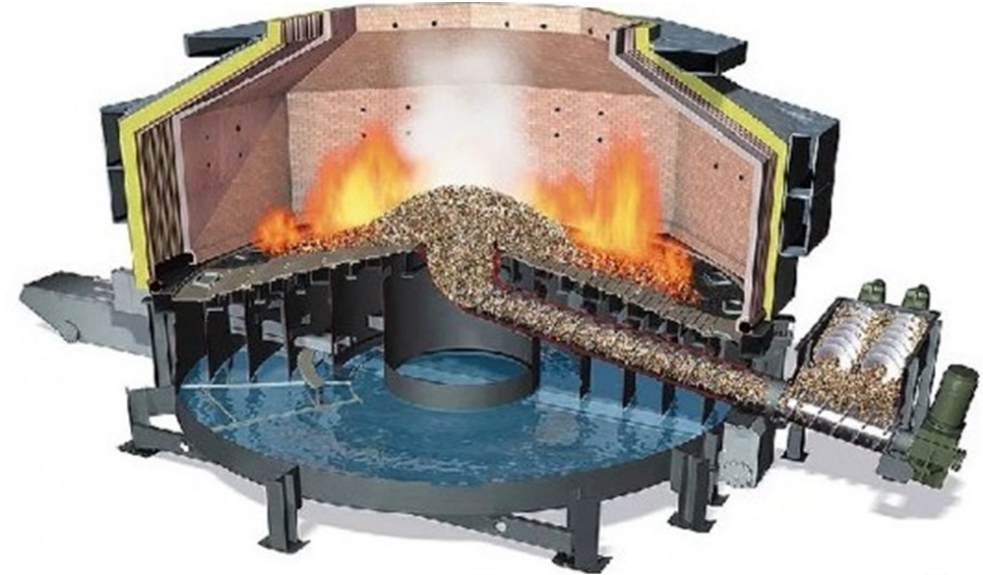
❖ Застосування теплоутилізаторів



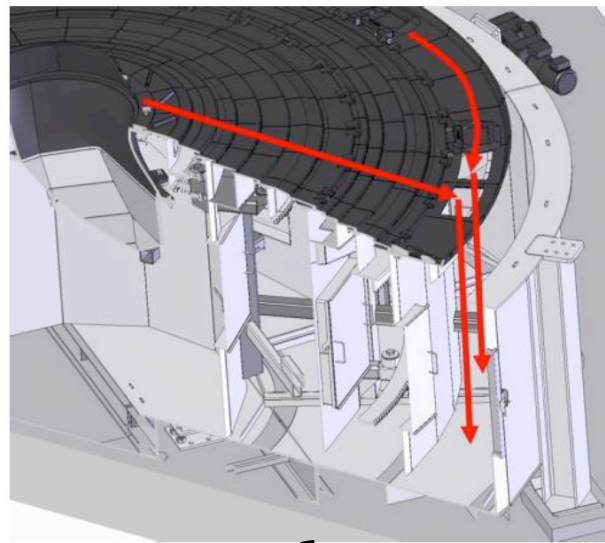
❖ Візуалізація процесів в котельні



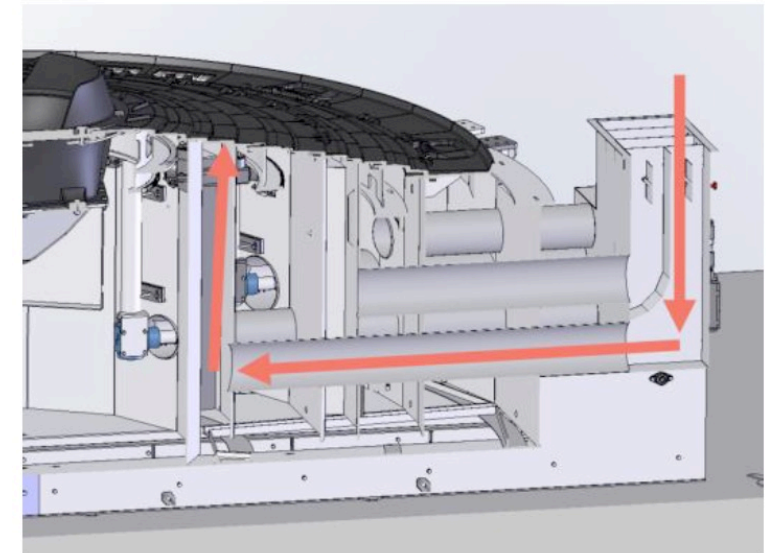
Спалювання на обертальній решітці



а



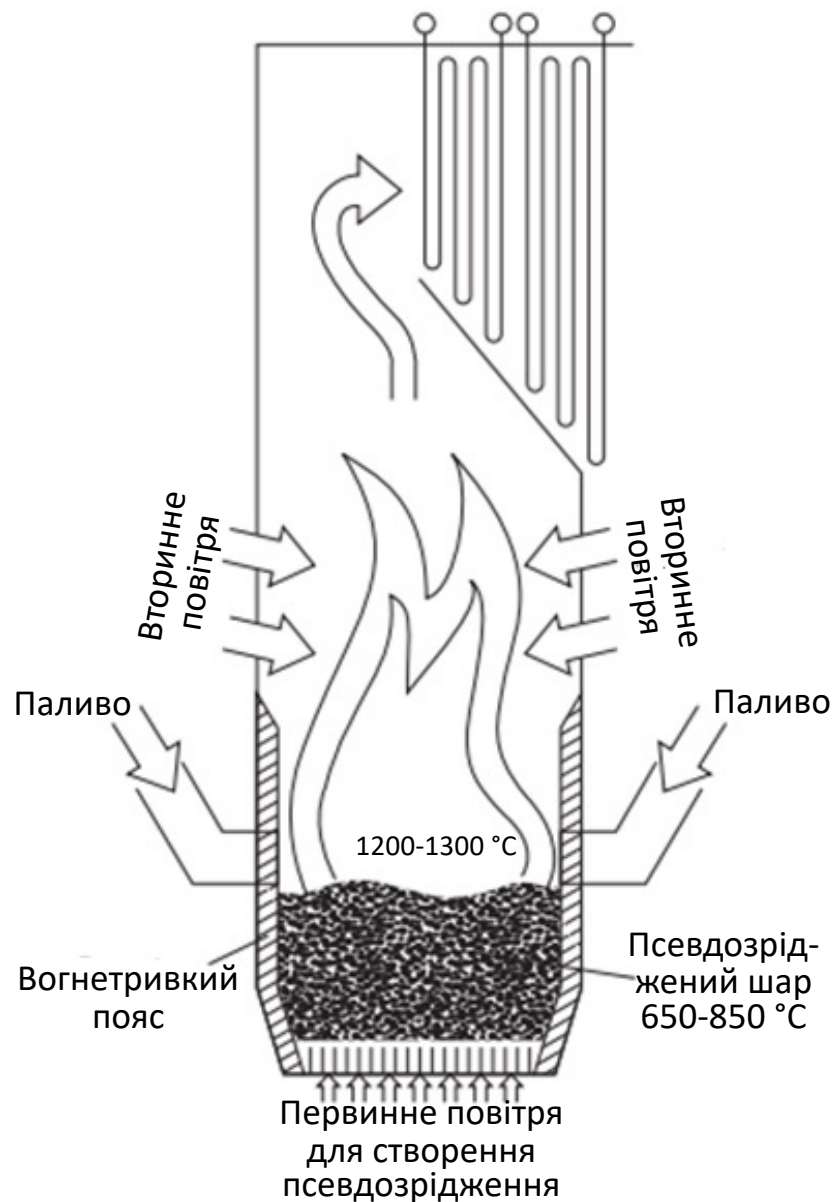
б



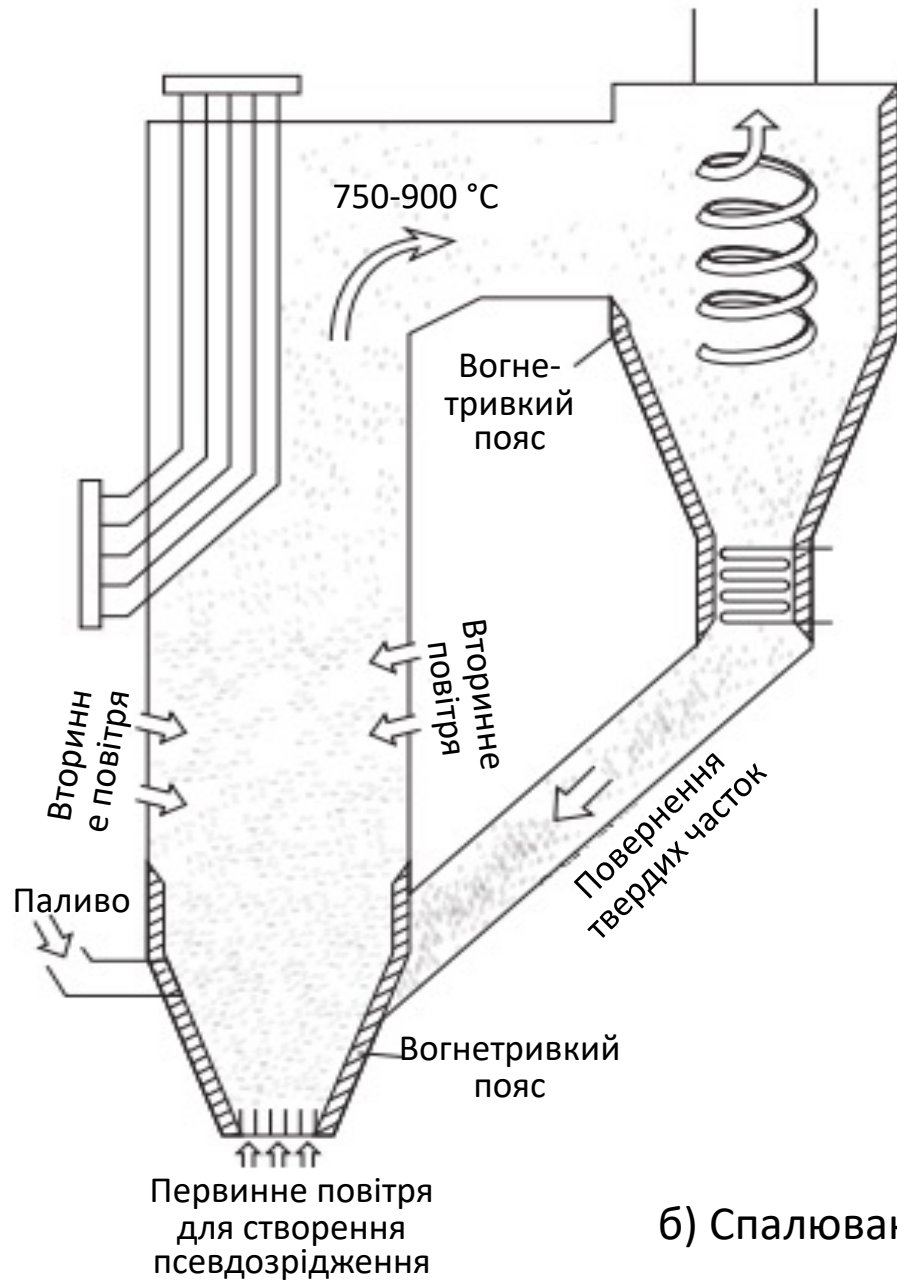
в

Напрями руху: а) колосників, б) шару палива по решітці в) первинного повітря

Спалювання в псевдозрідженому шарі

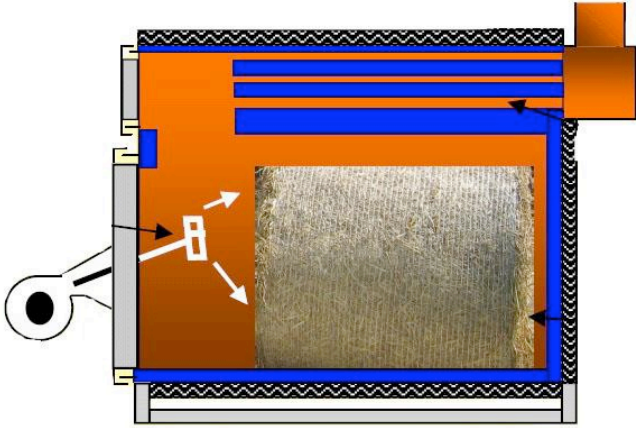


а) Спалювання в киплячому шарі

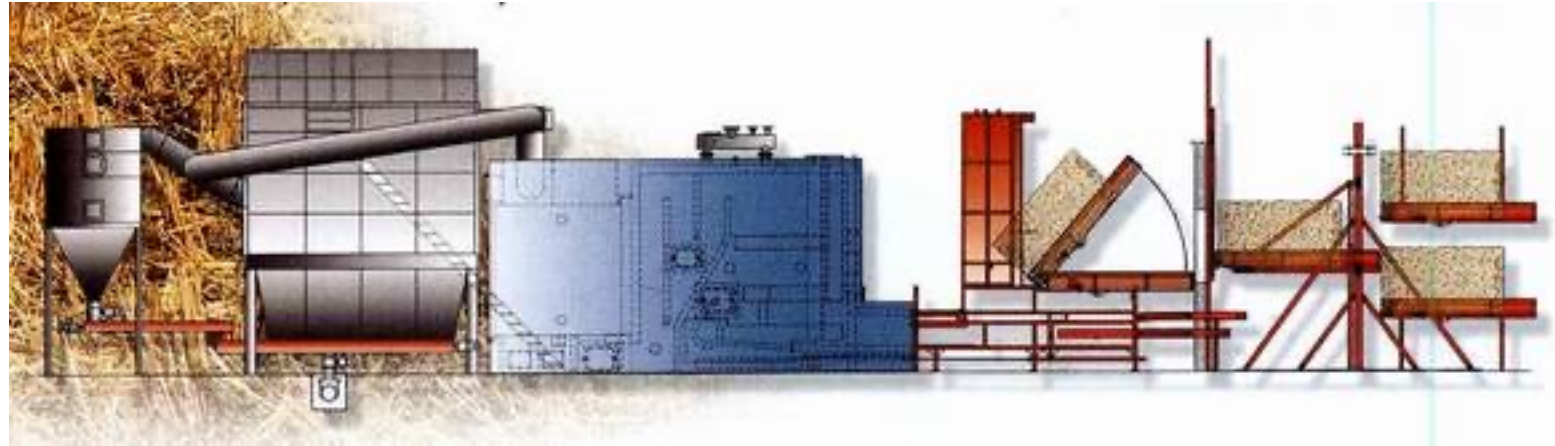


б) Спалювання в циркулюючому киплячому шарі

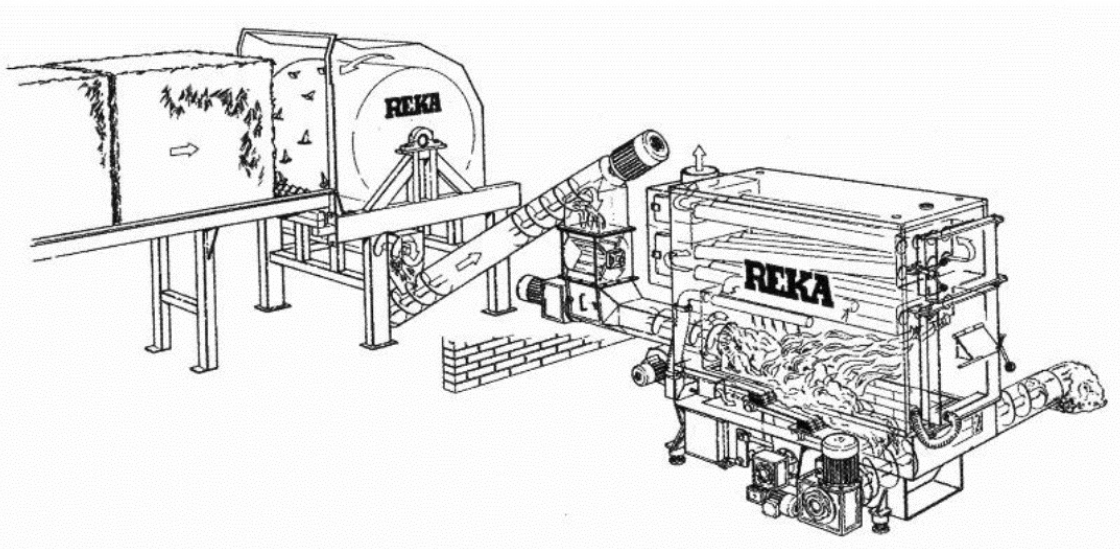
Спалювання тюків соломи



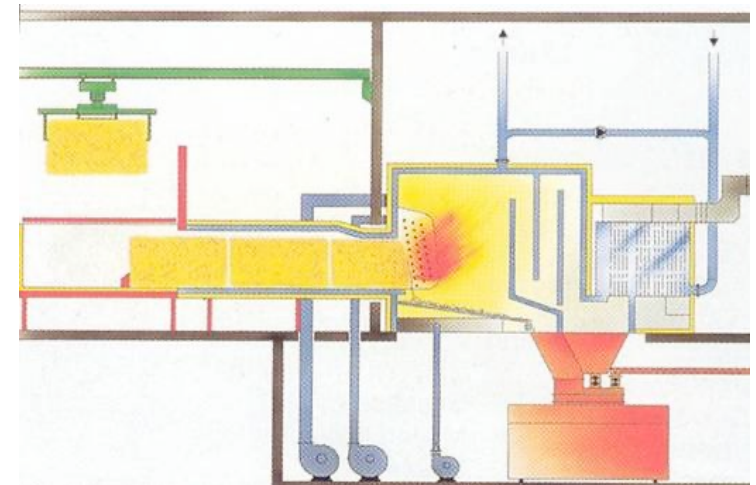
Спалювання з керованою зміною орієнтації струменів дуття



Безперервне спалювання тюків соломи з попереднім розрізанням на частини



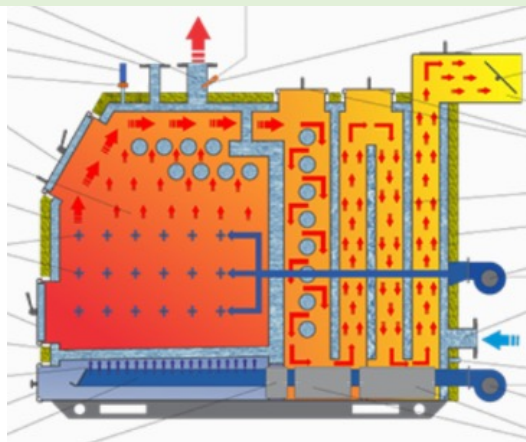
Спалювання подрібненої соломи на рухомій решітці



Сигарне спалювання цілих тюків соломи

Типи котлів на біомасі, що використовуються в централізованому теплопостачанні

Водогрійні котли на кусковому паливі потужністю до 3,15 МВт



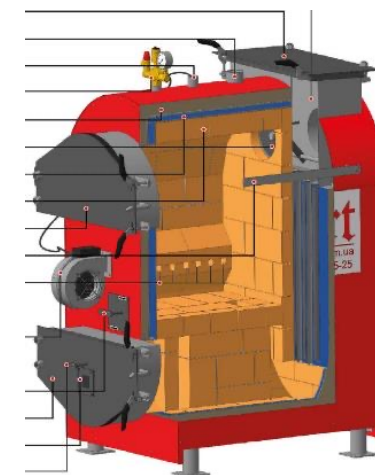
водогрійний котел РЕТРА-3М, теплова потужність до 1,15 МВт



Котельня на дровах в м. Ірпінь (реконструкція існуючої котельні)



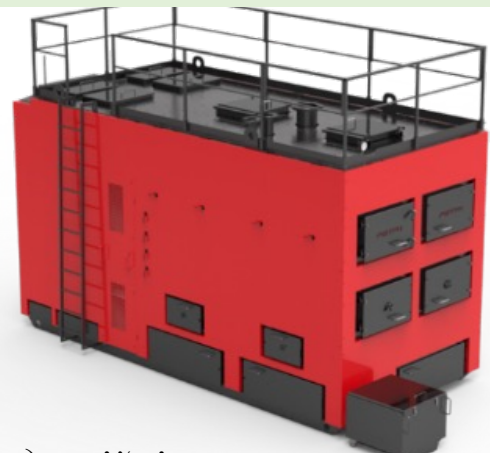
водогрійний котел Gefest-Profi S, піролізного типу, теплова потужність до 1,5 МВт



водогрійний котел Ziehbart, піролізного типу, теплова потужність до 3,15 МВт

Типи котлів на біомасі, що використовуються в централізованому теплопостачанні

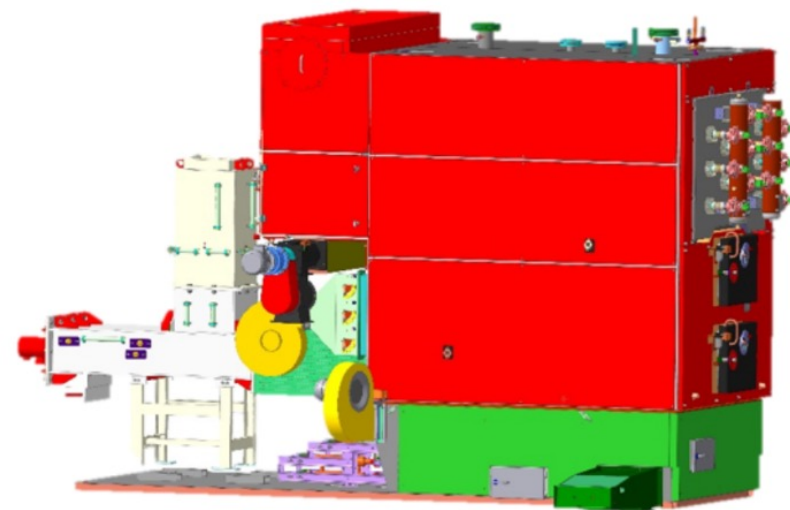
Водогрійні котли з автоматизованою подачею палива



Водогрійні котли на пелетах «РЕТРА-4М» потужністю до 3 МВт з самоочисним пальником совкового типу

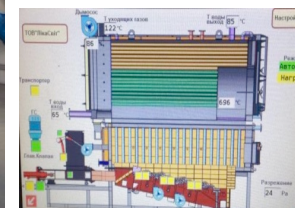


Водогрійні котли на пелетах Gefest-Profi потужністю до 2 МВт з пальником, обладнаним чавунними рухомими колосниками



Котли перегрітої води компанії Kriger (Україна), тиск води до 16 бар, температура близько 160 °C

Водогрійні котли ТОВ «Ліка-Світ» з похило-перештовхувальними колосниками

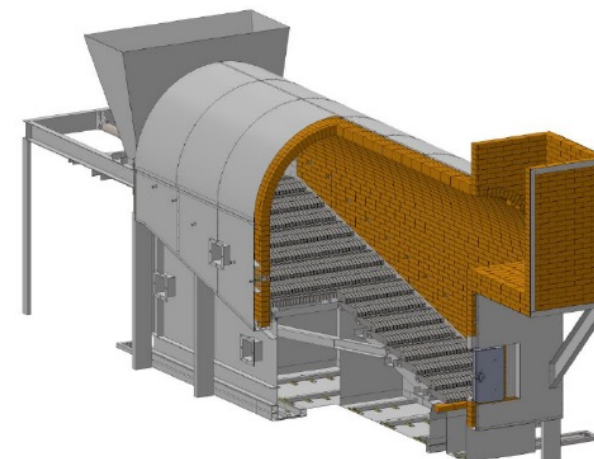
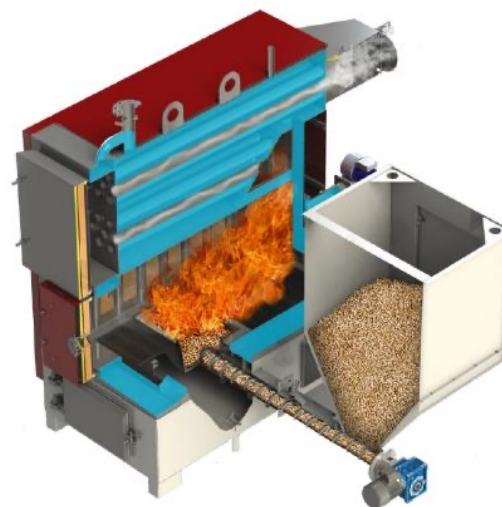
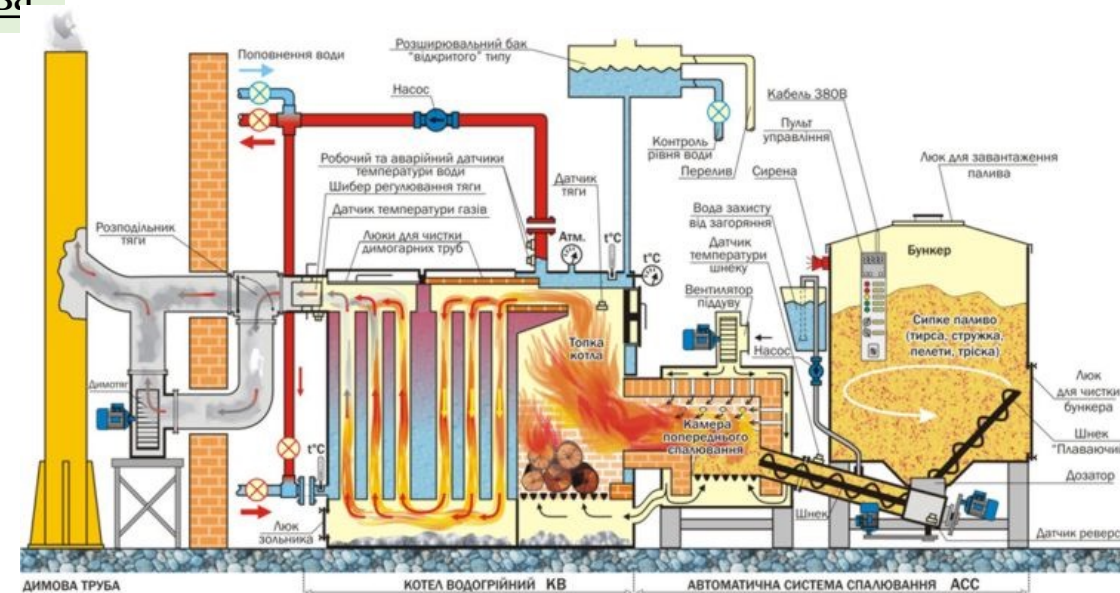


Типи котлів на біомасі, що використовуються в централізованому теплопостачанні

Водогрійні котли з автоматизованою подачею палива



Комплекси «Ройек-Львів» потужністю до 2 МВт



Водогрійні жаротрубні та водотрубні котли Ardens TM, ТОВ «Навімас», потужність до 12 МВт

Типи котлів на біомасі, що використовуються в централізованому теплопостачанні, сільському господарстві та промисловості

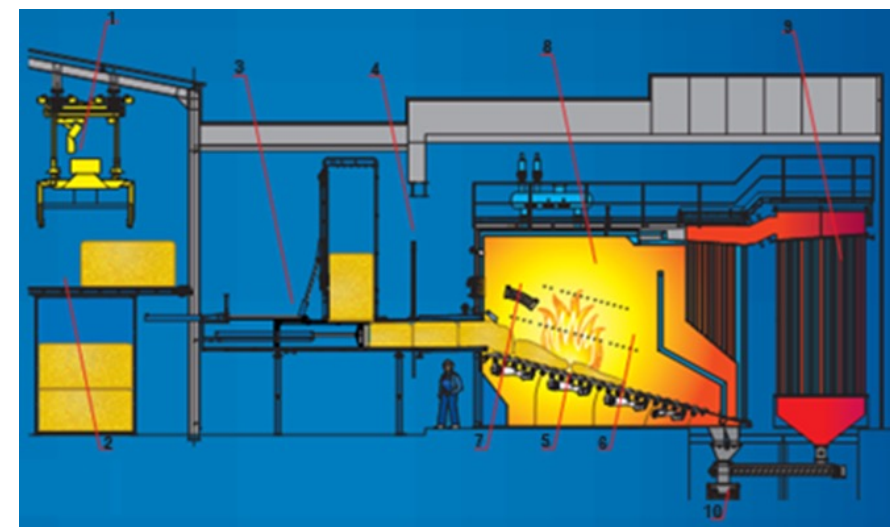
Водогрійні котли з автоматизованою подачею палива для роботи на тюках соломи



Водогрійні котли на тюкованій соломі Linka Energy потужністю до 5 MWt з попереднім подрібненням палива



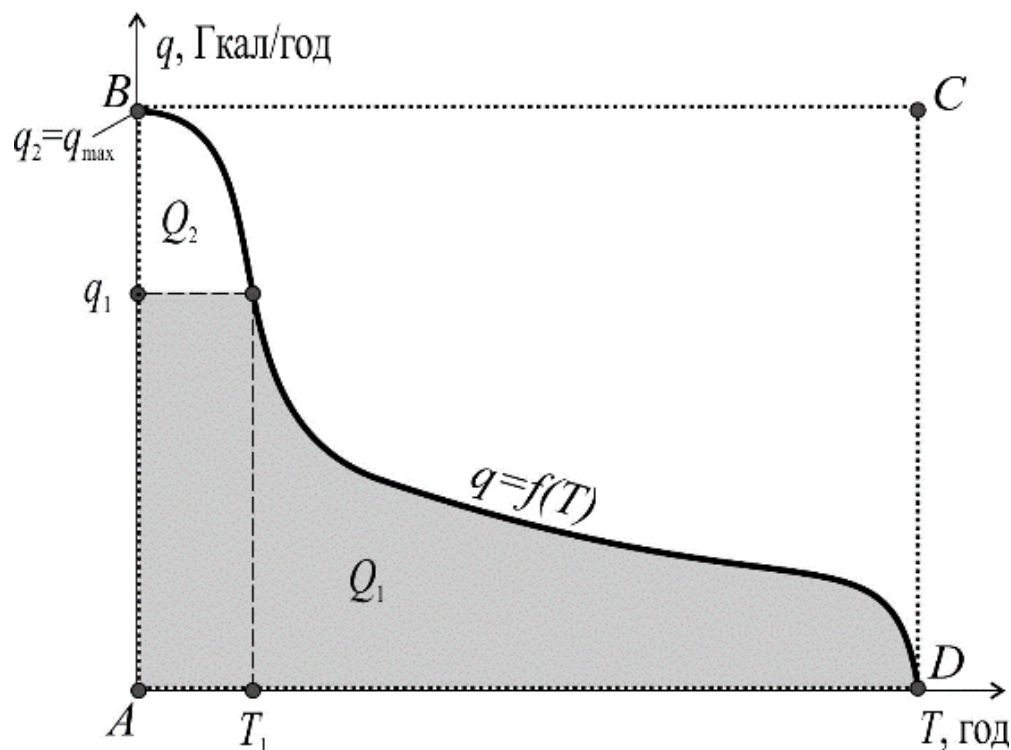
Водогрійні котли на тюкованій соломі TTS Vesko-S потужністю до 5 MWt



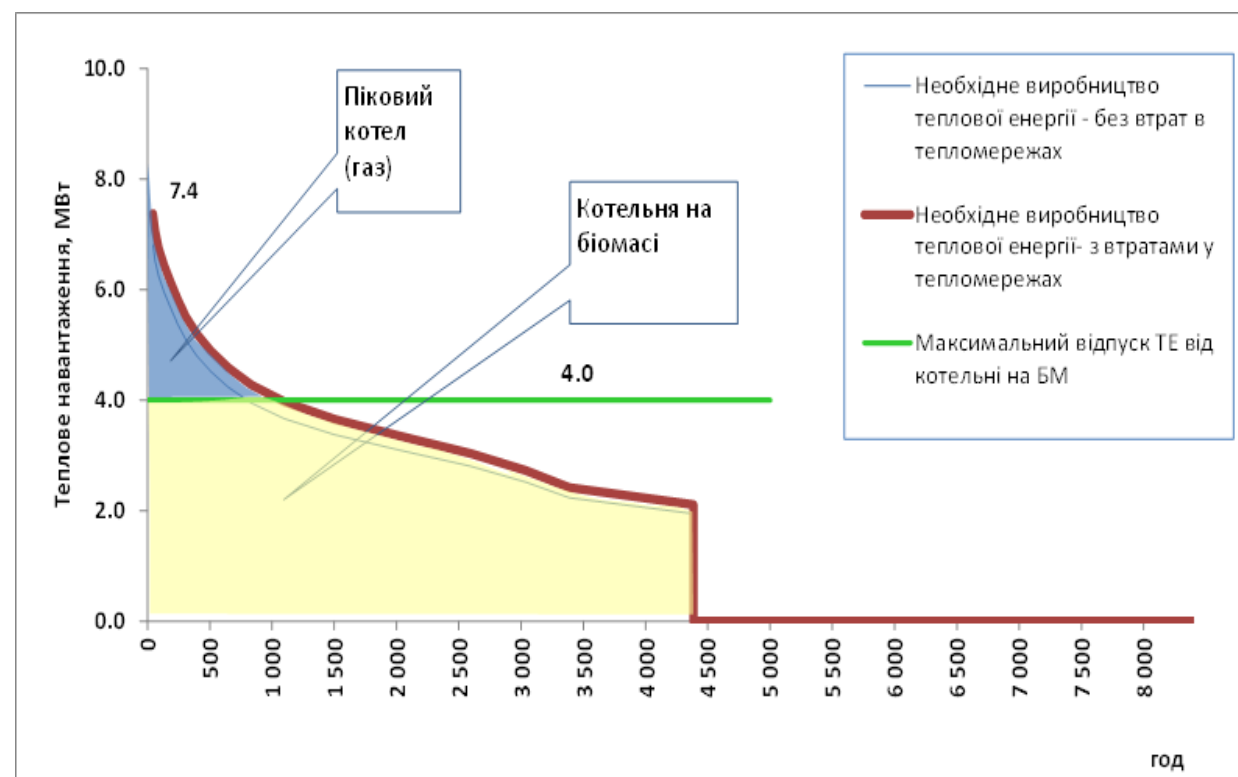
Особливості застосування котлів на біомасі в централізованому теплопостачанні

- ❖ нерівномірність навантажень протягом року;
- ❖ залежність від температури зовнішнього повітря.

графік Росандера, або графік тривалості теплового навантаження

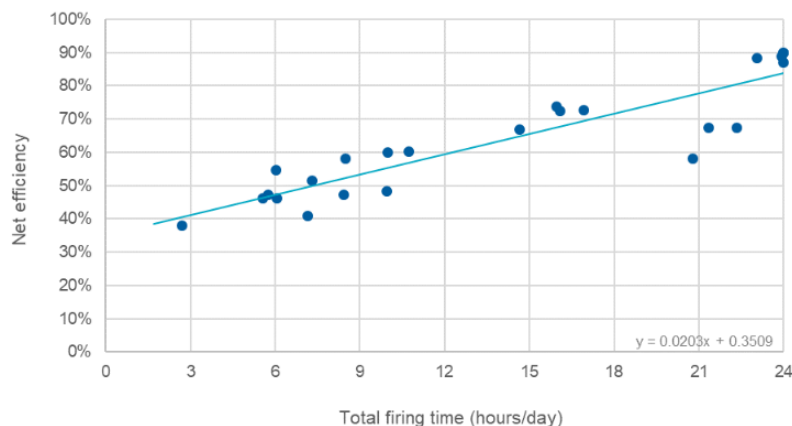


приклад розподілу навантажень між котлами на біомасі та газовими (піковими) котлами

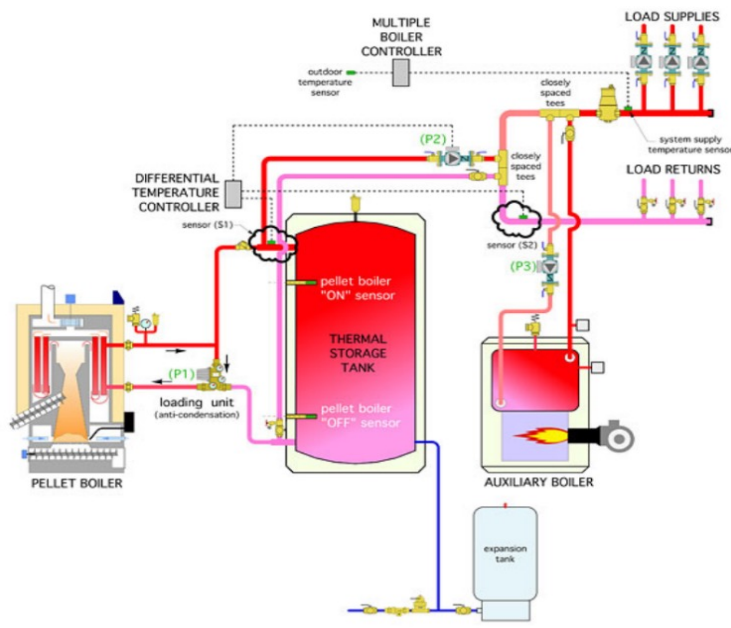
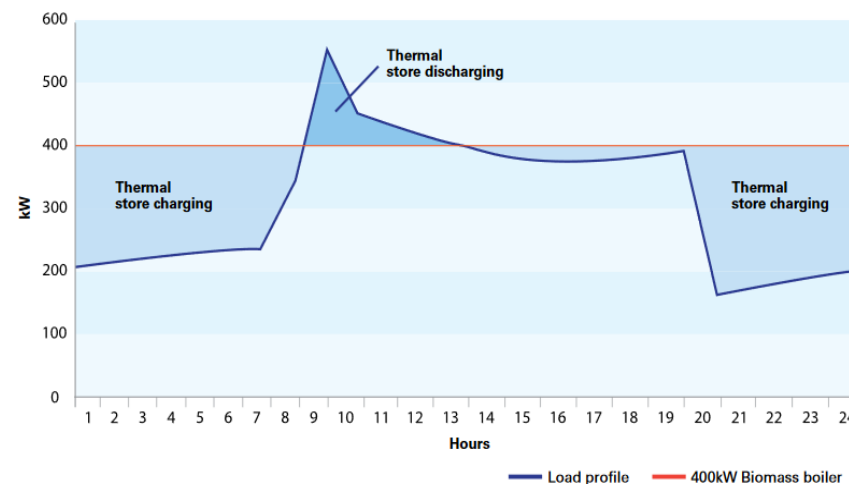


Теплові акумулятори як засіб згладжування нерівномірності теплових навантажень при застосуванні котлів на біомасі

залежність ефективності котла на біомасі від тривалості використання протягом доби



використання котла на біомасі з тепловим акумулятором

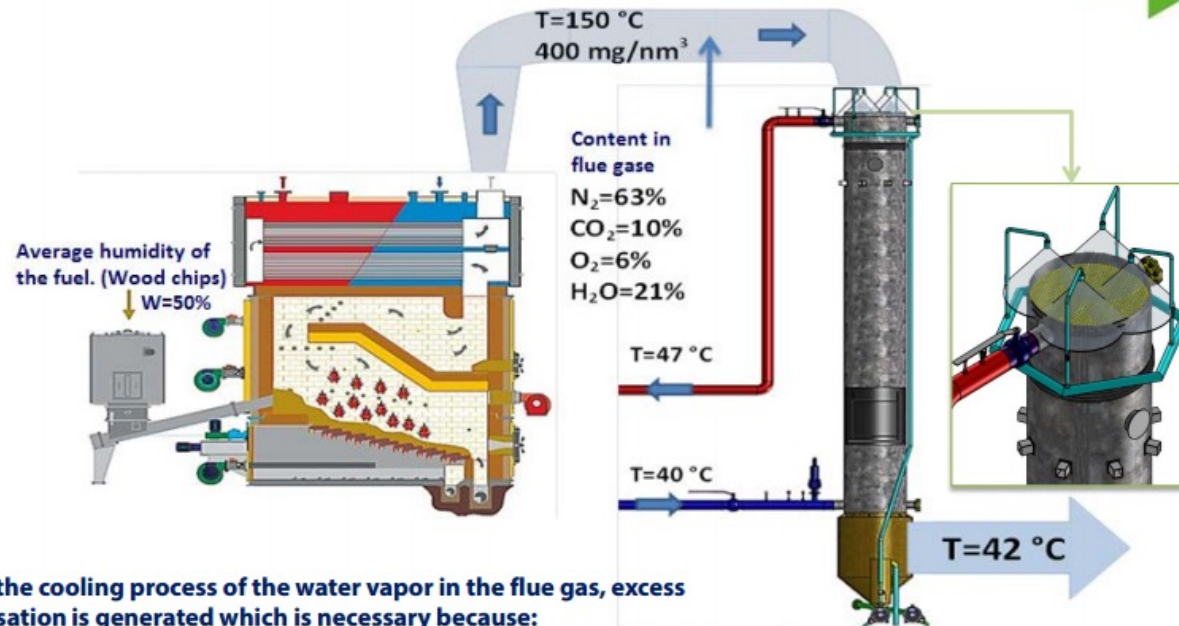


Котли на біомасі не можуть швидко реагувати на зміни теплових навантажень споживачів, на відміну від газових котлів. Вони працюють набагато ефективніше, якщо стабільна безперервна робота триває якомога довший час. Зазвичай найкращою практикою є використання котла на біомасі як частини системи, що поєднує великий запас тепла (по суті, ємність з гарячою водою, що служить тепловим акумулятором та допомагає згладжувати піки і провали теплових навантажень) та котла на газовому паливі, щоб забезпечити додаткову теплоту, необхідну в пікові періоди попиту.

Застосування утилізаторів теплоти продуктів згоряння

Підвищення ККД котлів при застосуванні конденсаційних економайзерів компанії ENERSTENA

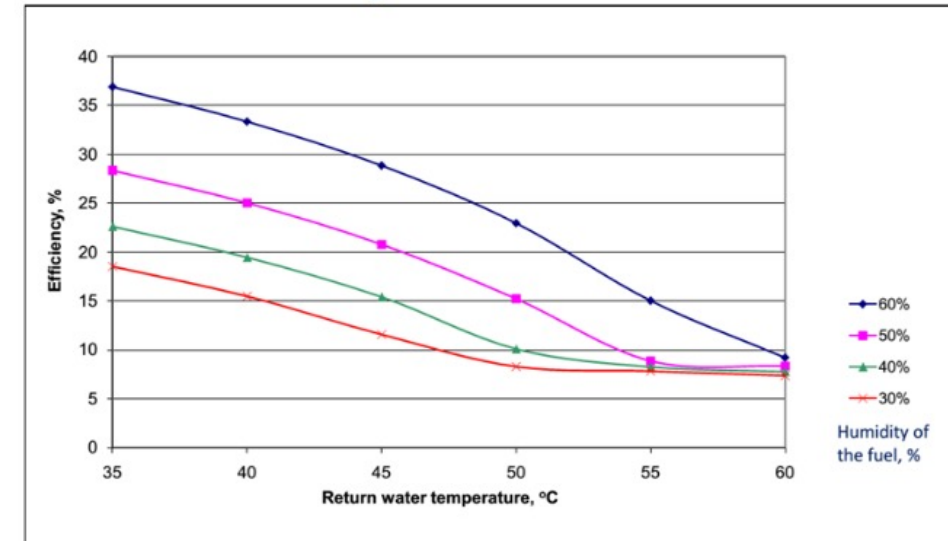
Schematic diagram of the economizer



During the cooling process of the water vapor in the flue gas, excess condensation is generated which is necessary because:

- ✓ Liquid are formed;
- ✓ Due to the excessive concentration of particulates in the condensate, it must be cleaned and neutralised

Total efficiency of the economizer CEB

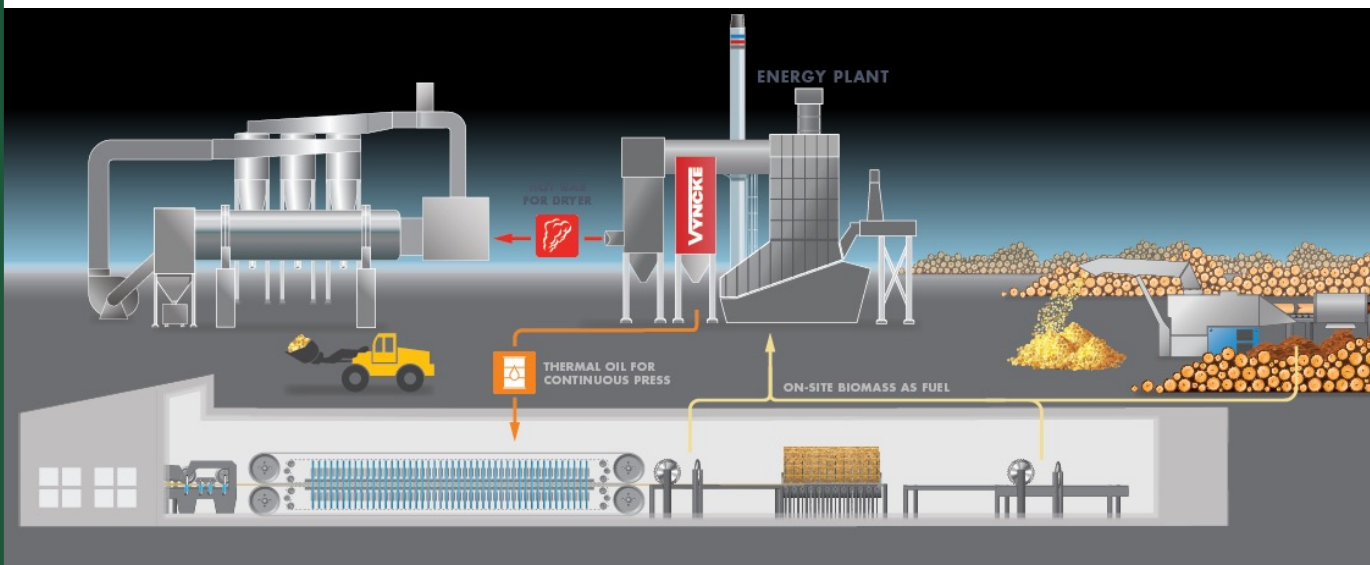
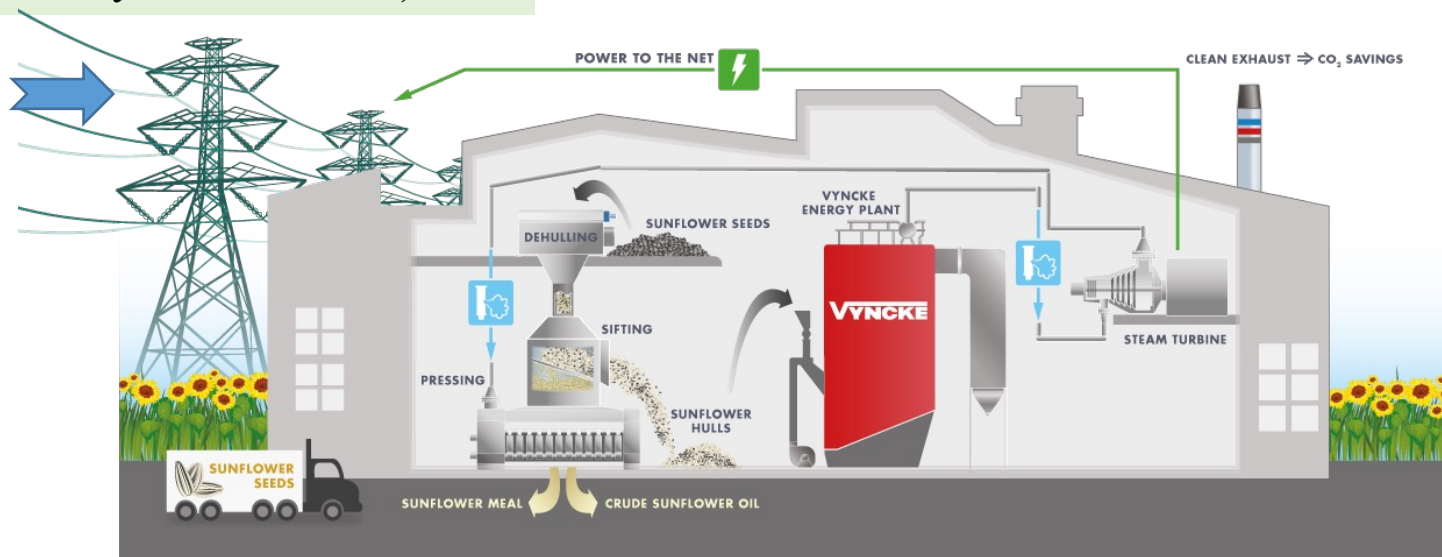


Очистка конденсату - методом коагуляції або флокуляції

Типи котлів на біомасі, що використовуються в промисловості

Парові котли на біомасі (на прикладі котлів Vyncke, Бельгія)

На підприємствах з виробництва соняшникової олії парові котли працюють на лущинні соняшника, виробляючи перегріту або насичену пару. У першому випадку пара йде на паровий турбогенератор для виробництва електроенергії. У другому-пара йде на технологічні потреби виробництва.



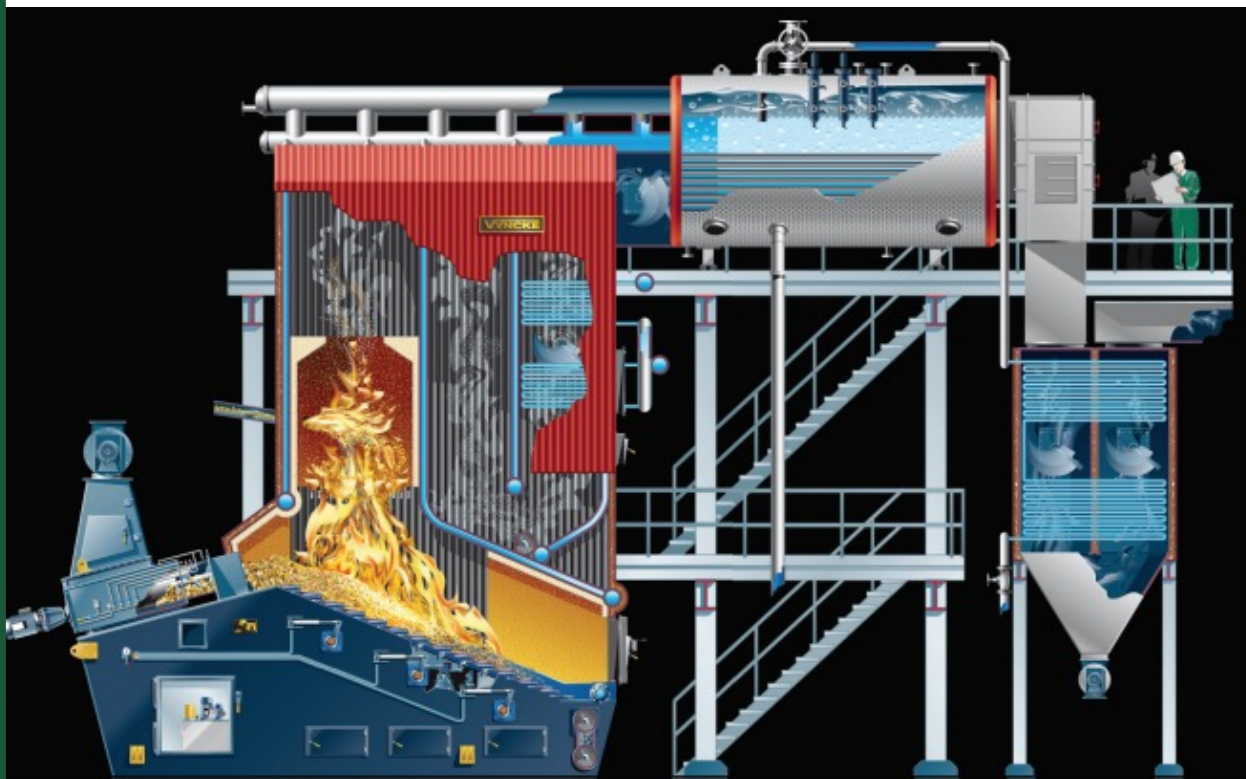
На підприємствах з виробництва деревних плит, фанери, котли виробляють насичену пару або високотемпературну оливу, що йде на технологічні потреби. Паливом служить деревна тріска, некондиційна деревина. Також котли можуть виробляти теплоносії для сушарок.

Типи котлів на біомасі, що використовуються в промисловості

Парові котли на біомасі (на прикладі котлів Vyncke, Бельгія)

Переваги використання водяного охолодження перед повітряним полягають у вищій питомій теплоємності води та кращій теплопровідності. Це дозволяє воді передавати тепло з меншою різницею температур. Дверцята для подачі палива, поверхня східчастої решітки, стінки печі та конвеєрна система знезолювання є механічними частинами, які піддаються впливу температури 1000°C . Всі вони мають систему водяного охолодження.

Енергія, яку поглинає система охолодження східчастої решітки повертається або в основний цикл пара/гаряча вода, або для попереднього нагріву повітря для горіння.



Приклади втілених проектів з енергетичного використання біомаси в централізованому теплопостачанні



*Жовкватеплоенерго, 2014-2016 роки, 4 МВт, 3 котли
Крігер КВм-0,82 +котел
Крігер GP 1,5 МВт*



*Вінницятеплоенерго, 2016-2017 рік, загальна потужність 5,2 МВт,
два котли Mawera SFR 2600 по 2,6МВт, паливо- деревна тріска*

Приклади втілених проектів з енергетичного використання біомаси в централізованому тепlopостачанні



Приклади втілених проектів з енергетичного використання біомаси в централізованому теплопостачанні



Місто Купянськ, 2016-2017 роки, котел Marten, 1 МВт (тріска) + котел на пелетах 0,6 МВт.



Місто Купянськ, 2016-2017 роки, котельня на пелетах 0,3 МВт, опалює дитячий садок

Тепличні господарства



Виробництво ДВП



Сільське господарство

Котельня на соломі птахокомплексу «Дніпровський»



*Парова котельня
компанії «Нива
Переяславщини»*



Зерносушарки



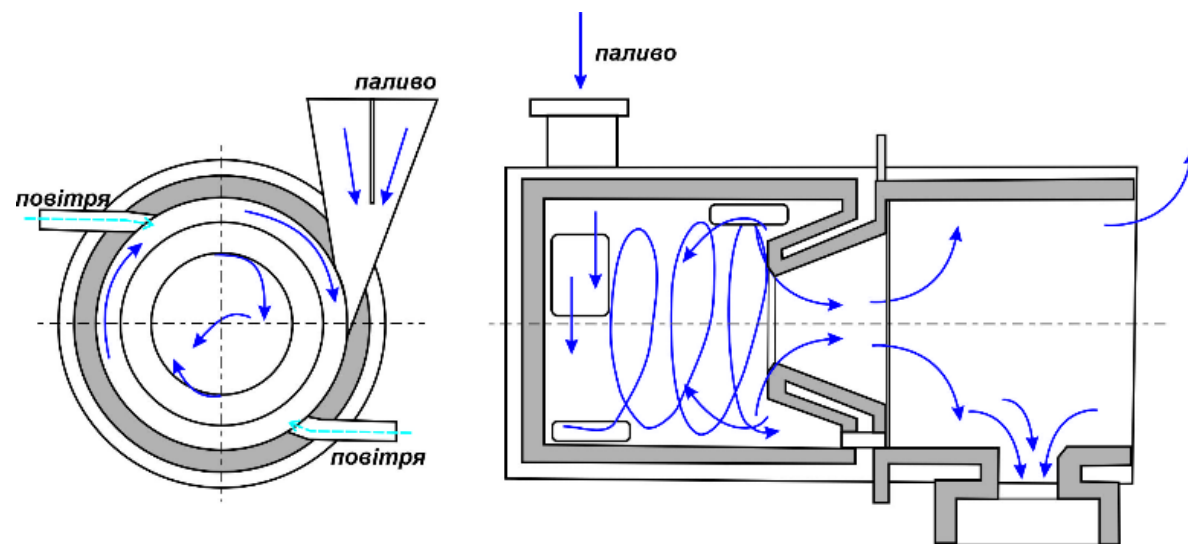
*Теплогенератор компанії TEFF (м.Одеса) (6 МВт)
до зерносушарки Bonfanti*

циклонний пальник «Синергія»



*Зерносушильний
комплекс КС-16 компанії
«БРІГ»*

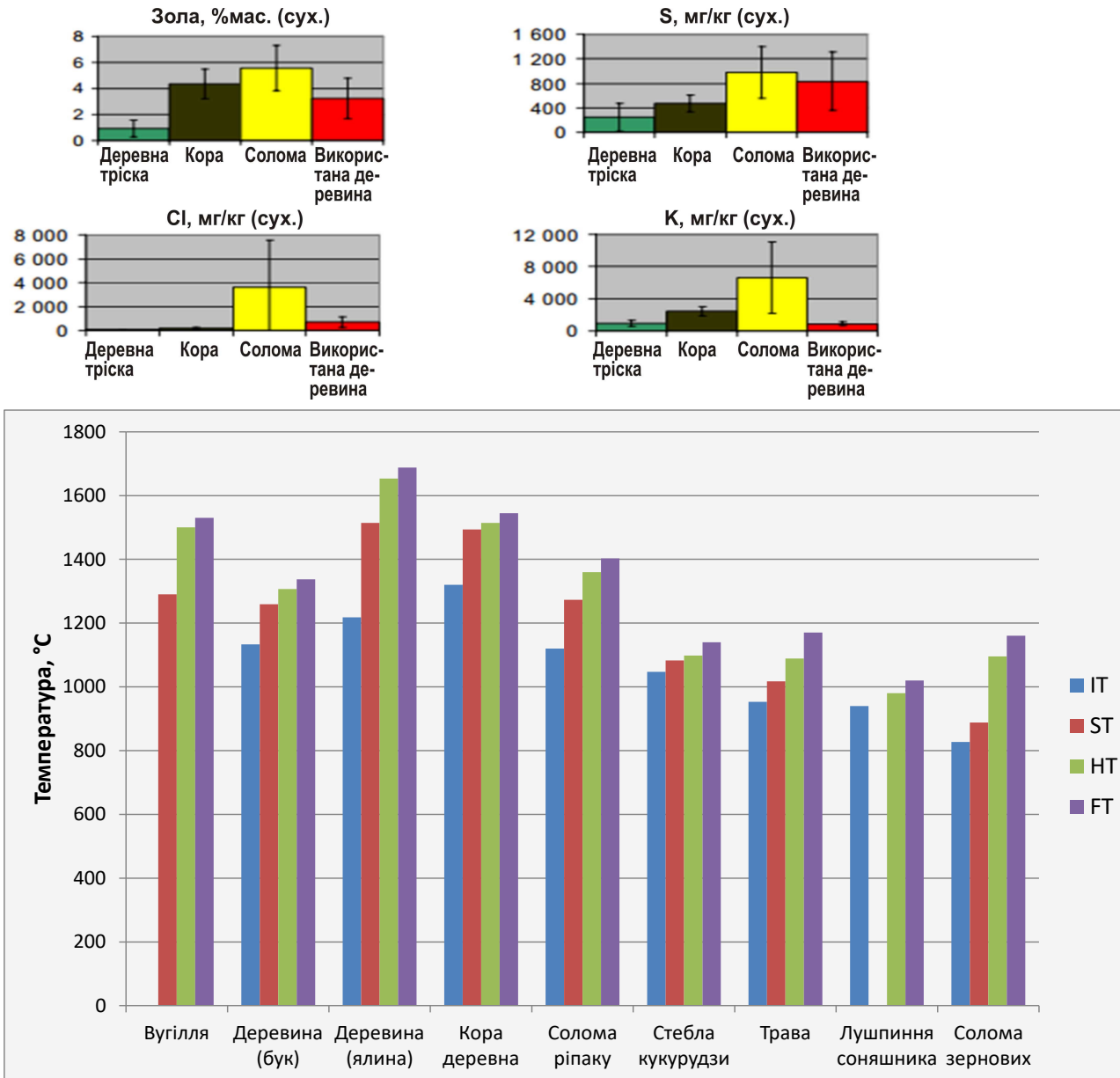
принцип вихрового спалювання



Особливості використання твердої біомаси як палива

- ❖ Необхідність забезпечення стабільності постачання.
- ❖ Необхідність забезпечення стабільності та передбачуваності паливних характеристик.
- ❖ Вологість палива- важкі обмурування котлів та нагріті поверхні- «каталізатори» запалювання вологого палива.
- ❖ Вміст золи та температура її плавлення.
- ❖ Необхідність певного поводження з золою – операцій по її видаленню та вивезення з котельні.
- ❖ Очищення від сажі.
- ❖ Очищення димових газів від твердих часток
- ❖ Менша енергетична щільність об'єму палива- більші об'єми топкового простору.
- ❖ Необхідність складів палива, систем та техніки для складування біомаси та її подачі в котельню
- ❖ Вищі витрати електричної енергії на відпущену теплову енергію
- ❖ Більша потреба в обслуговуючому персоналі котельних на біомасі.
- ❖ Вищі капітальні витрати порівняно з газовими котлами

Характерні температури стадій деформування золи твердого біопалива



- ❖ **Температура початку деформації (IT)** - температура, при якій кінці зразка показують перші ознаки округлення через плавлення.
- ❖ **Температура розм'якшення (ST)** – температура, при якій висота зразка дорівнює його ширині.
- ❖ **Температура утворення напівсфери (HT)** – температура, при якій випробуваний зразок розплавиться досить, щоб сформувати напівсферу.
- ❖ **Температура розтікання (FT)** – температура, при якій випробуваний зразок повністю втратив свою форму, тобто остаточно розплавився та розтікся по поверхні.

Проблеми, які виникають при спалюванні агробіомаси



Відкладення всередині топки



Відкладення на трубах



Спікання золи



Відкладення на пароперегрівачі



Хлорна корозія пароперегрівача



Відкладення на конвективних поверхнях



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Дякую за увагу!

Володимир Крамар, к.т.н.,
НТЦ «Біомаса»,
Біоенергетична
асоціація України (UABIO)

<https://uabio.org>

<https://www.facebook.com/uabio>

