



*Осади стічних вод як  
енергетичний ресурс.  
Методика підготовки та  
використання*

*Відходи в доходи*

*Національна академія наук України  
Інститут газу НАН України  
П'яних К.Є.*





## Мули стічних вод (ОСВ) як ПРОБЛЕМА

Щорічний приріст опадів для України становить  
близько 1,2 млн. тон по сухій речовині

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| Площа мулових карт             | 400 кв. км, |
| Площа полів для зберігання ОСВ | 100 кв. км. |

Чисельність бактерій в активних мулах становить  $10^8$   
-- $10^{12}$  клітин на 1 мг сухої речовини. В активному  
мулі зустрічаються всі морфологічні групи бактерій.

# Споруди для очищення стічних вод



# IV МІЖНАРОДНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ ФОРУМ “ВОДА & ЕНЕРГІЯ”



## Вміст важких металів в ОСВ (сухий стан)

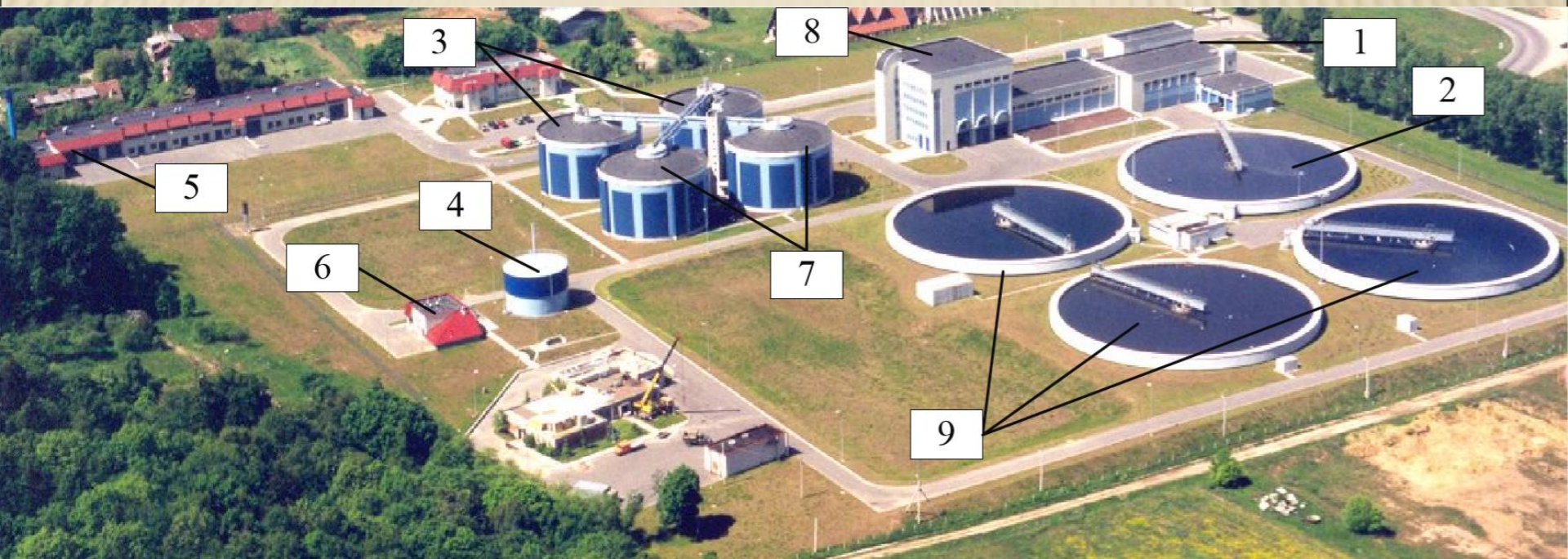
| Назва елементу<br>ВМ | Фактичний зміст ВМ, (мг/кг сухої речовини) у пробах ОСВ в Україні |                                            |                                                                 |                                                                |                   |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|
|                      | м. Суми                                                           | м. Київ<br>(Бортницька станція<br>аерації) | м. Харків<br>(Безлюдівський<br>комплекс біологічної<br>очистки) | м. Харків<br>(Диканівський<br>комплекс біологічної<br>очистки) | м. Луганськ       |
| Кадмій (Cd)          | 14,22                                                             | 55,00                                      | 6,44                                                            | 8,83                                                           | 18,93 ± 13,86     |
| Кобальт (Co)         | 3,99                                                              | -                                          | -                                                               | -                                                              | 34,13 ± 7,57      |
| Нікель (Ni)          | 223,20                                                            | 280,00                                     | 160,00                                                          | 294,58                                                         | 149,00 ± 69,62    |
| Стронцій (Sr)        | -                                                                 | -                                          | 104,50                                                          | 116,67                                                         | -                 |
| Свинець (Pb)         | 87,21                                                             | 650,00                                     | 172,00                                                          | 243,83                                                         | 92,73 ± 41,37     |
| Хром +3 (Cr+3)       | 421,23                                                            | 1130,00                                    | -                                                               | -                                                              | -                 |
| Мідь (Cu)            | 373,51                                                            | 740,00                                     | 675,00                                                          | 1379,2                                                         | 287,00 ± 122,35   |
| Марганець (Mn)       | 171,49                                                            | -                                          | 745,30                                                          | 940,83                                                         | 338,00 ± 16,00    |
| Цинк (Zn)            | 1078,05                                                           | 1960,00                                    | 847,00                                                          | 893,33                                                         | 372,67 ± 26,35    |
| Залізо (Fe)          | -                                                                 | -                                          | 13500                                                           | 22833,33                                                       | 17408,30 ± 658,33 |



Допустимий вміст важких металів  
в ґрунті (мг / кг) по сухій речовині в ЄС

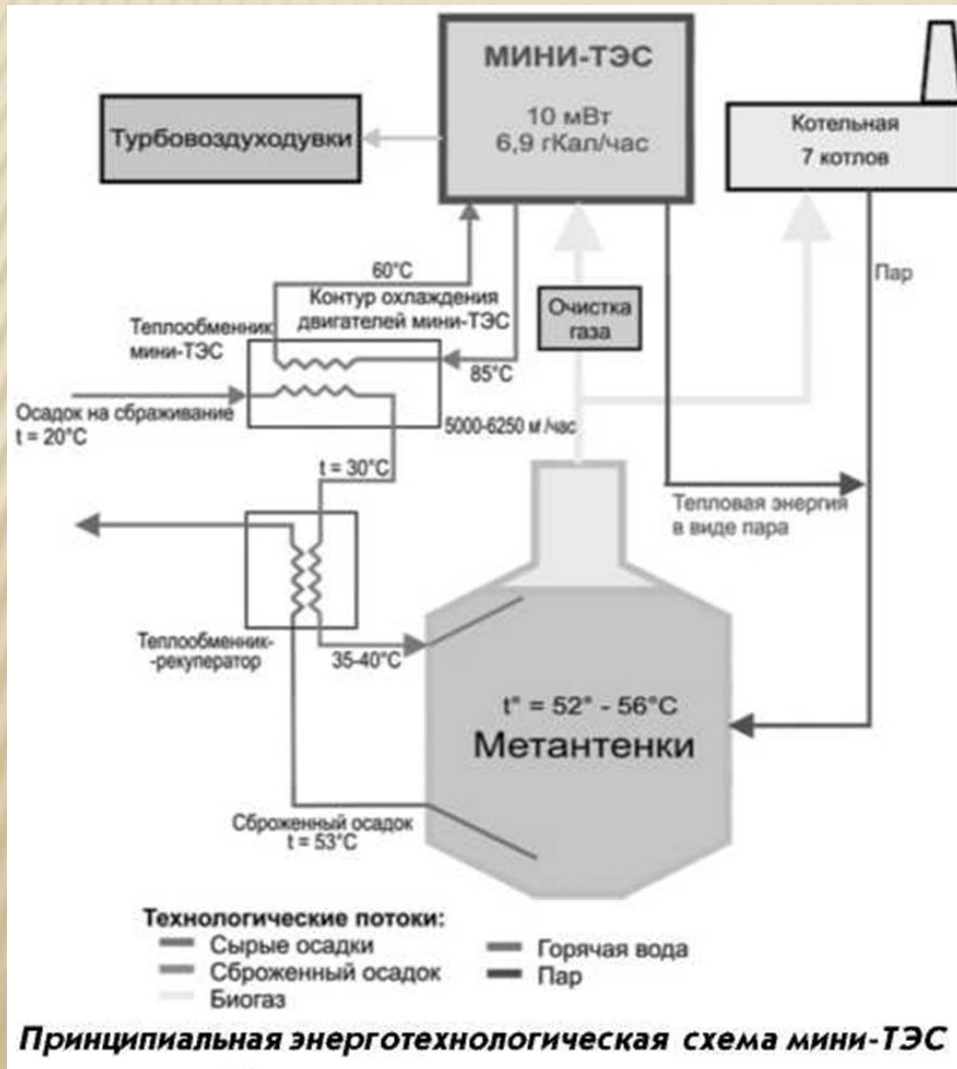
| Показник | Директива ЄС<br>№86/278 |
|----------|-------------------------|
|          | $6 < \text{pH} < 7$     |
| Cd       | 1-3                     |
| Cr       | -                       |
| Cu       | 50-140                  |
| Hg       | 1-1,5                   |
| Ni       | 30-75                   |
| Pb       | 50-300                  |
| Zn       | 150-300                 |

## Біогазова станція очистки ОСВ



1 – механічні сепаратори, 2 – резервуар осадки ила, 3 – біогазові реактори, 4 – газгольдер, 5 – котельня, 6 – компресорна, 7 – резервуари ила, 8 – сепаратори ила, 9 – хранилища рідкої фракції

## Біогазова станція очистки ОСВ Курьянівська



### Оценка потенциалу

Енергетичний потенціал біогазу

$$W_{\text{газ}} = 5625 \times 5480 \times 4,187 / 3600$$
$$W_{\text{газ}} = 35,850 \text{ МВт}$$

Розкладання в біогазовому  
реакторі біля 44% беззольної  
частки біомаси

## Обробка мулів міських стоків



85 т/г



3,33 т/ч

10%

Стрічковий фільтр-прес.  
Зниження вологості до 80 ...  
85%

Комбінована сушка. Зниження вмісту  
вологи з 80% до 10%.  
Формування гранул розміром 5 ... 20 мм.

Річна продуктивність в умовах Київської області 1 т  
палива з 1 м<sup>2</sup> комплексу

## Обробка мулових залишків міських стоків

| Opis próbki                             |            |                 |                                  |
|-----------------------------------------|------------|-----------------|----------------------------------|
| Nazwa oznaczenia                        | Symbol     | Jednostka miary | (*) Wartość ± niepewność pomiaru |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3        | $W_{ex}^r$ | %               | $3,2 \pm 0,3$                    |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3        | $W^a$      | %               | $7,4 \pm 0,4$                    |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3        | $W_l^r$    | %               | $9,7 \pm 0,5$                    |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3        | $A^d$      | %               | $28,1 \pm 5,6$                   |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3        | $A^r$      | %               | $25,4 \pm 5,1$                   |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3        | $A^a$      | %               | $26,0 \pm 5,2$                   |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.3 | $S_t^a$    | %               | $0,87 \pm 0,26$                  |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.3 | $S_t^d$    | %               | $0,94 \pm 0,28$                  |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.3 | $S_t^r$    | %               | $0,84 \pm 0,25$                  |
| ciepło spalania wg PB-36 wyd. 2         | $Q_s^a$    | kJ/kg           | $15976 \pm 240$                  |
| wartość opalowa wg PB-36 wyd. 3         | $Q_i^a$    | kJ/kg           | $14940 \pm 224$                  |
| wartość opalowa wg PB-36 wyd. 3         | $Q_i^r$    | kJ/kg           | $14508 \pm 218$                  |

Підготовлені мули,  
м Катовіце, Польща

Зольний залишок  
спалювання мулу



## Обробка мулових залишків міських стоків

| №<br>п/п                          | Показник та його<br>позначення          | Одиниця<br>виміру | Значення<br>параметру |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1                                 | Загальна волога, $M_{ar}$               | %                 | 6,8                   |
| 2                                 | Зольність, $A_d$                        | %                 | 27,8                  |
| 3                                 | Загальна сірка, $W_{s,d}$               | %                 | 0,93                  |
| 4                                 | Вихід летких речовин, $V_d$             | %                 | 49,2                  |
| 5                                 | Нижча теплота згоряння,<br>$q_{net,ar}$ | ккал/кг           | 3343                  |
|                                   |                                         | МДж/кг            | 13,997                |
| 6                                 | Вища теплота згоряння,<br>$q_{gr.daf}$  | ккал/кг           | 5383                  |
|                                   |                                         | МДж/кг            | 22,54                 |
| Температура стадій плавкості золи |                                         |                   |                       |
| 7                                 | Деформації                              | °C                | 1170                  |
| 8                                 | Півсфери                                | °C                | 1320                  |
| 9                                 | Розтікання                              | °C                | 1350                  |

Підготовлені мули,  
м. Запоріжжя,  
Україна

Зольний залишок  
спалювання мулу





## Обробка мулових залишків міських стоків

| № п/п               | Показник та його позначення    | Одиниця виміру | Значення параметру |
|---------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
| Хімічний склад золи |                                |                |                    |
| 1                   | SiO <sub>2</sub>               | %              | 45,0               |
| 2                   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %              | 7,49               |
| 3                   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %              | 9,62               |
| 4                   | SO <sub>3</sub>                | %              | 0,97               |
| 5                   | TiO <sub>2</sub>               | %              | 0,88               |
| 6                   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %              | 9,64               |
| 7                   | CaO                            | %              | 12,0               |
| 8                   | MgO                            | %              | 4,54               |
| 9                   | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %              | 0,19               |
| 10                  | K <sub>2</sub> O               | %              | 1,83               |
| 11                  | Na <sub>2</sub> O              | %              | 1,79               |



**Вміст важких металів в шламовідстійниках  
вуглезбагачення. Дані ОФ "Донецька"**

| <b>Елемент</b> | <b>Середні<br/>значення за ТУ</b> | <b>Вміст в пробах,<br/>г/т</b> |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Сурьма         | 33                                | 30                             |
| Свинець        | 40                                | 20-100                         |
| Миш'як         | 23                                | 70                             |
| Кадмий         | 12                                | 10-15                          |
| Цинк           | 150                               | 30-100                         |
| Літій          | 75                                | 45-160                         |
| Молібден       | 3                                 | 5-7                            |



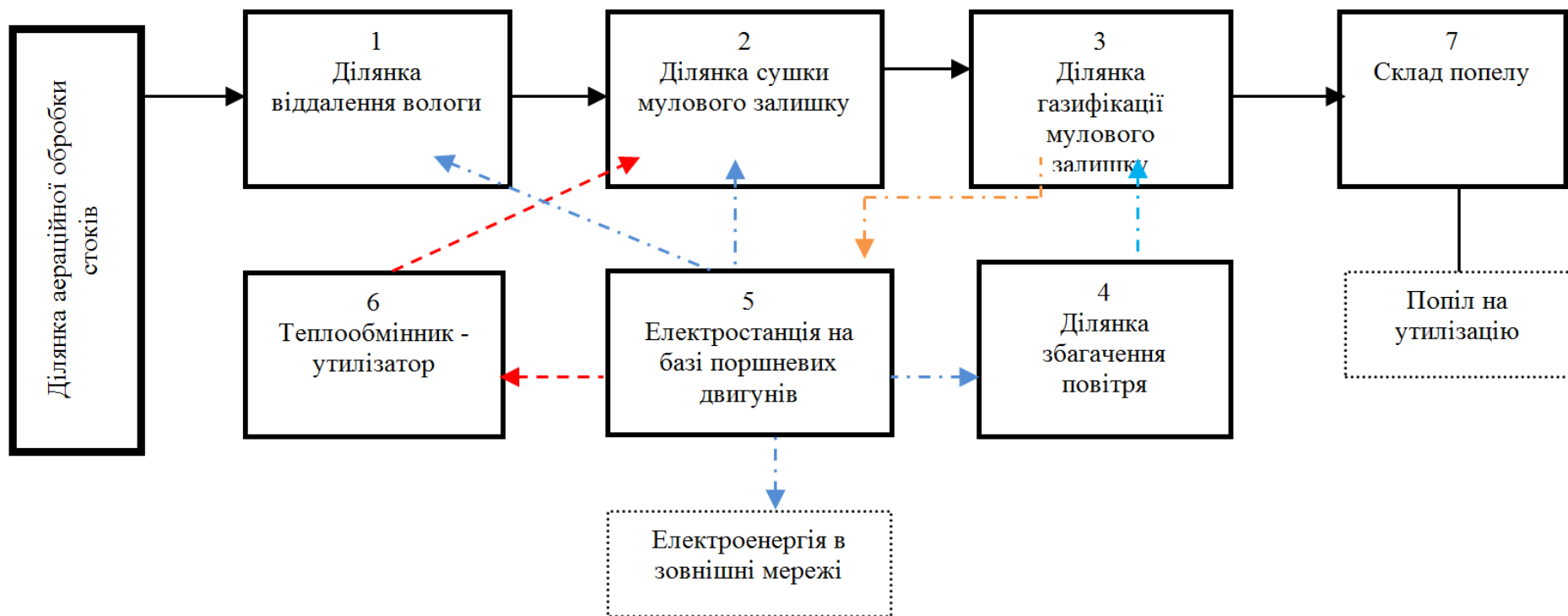
### Приклади спалювання відходів в енергетичних котлах країн-членів ЄС

| Experience with waste co-incineration in LCPs | Main fuel type | Waste streams co-incinerated                            | Boiler type | Total rated thermal input (MW) | Gross electric power output (MW) | Co-firing degree (thermal) | Remarks / handling of waste                                |
|-----------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------|
| Austria                                       | Coal           | Sewage sludge                                           | WBB         | 543                            | 246                              | 0.1 %                      |                                                            |
| France                                        | Biomass        | Paper sludge and residues, waste wood, sewage sludge    | CFBC        | 85                             | 9                                | Varying                    | Degree of co-incineration over 25 %                        |
| Germany                                       | Lignite        | Sewage sludge                                           | DBB         | 2 × 2465                       | 2 × 920                          | 1.5 %                      | Mixing with lignite before pulverisation                   |
| Germany                                       | Coal           | Sewage sludge, meat/bonemeal                            | WBB         | 2100                           | 838                              | 1.0 %                      | Mixing of waste with the main fuel before feeding together |
| Germany                                       | Coal           | Sewage sludge                                           | DBB         | 1370                           | 550                              | 0.1 %                      |                                                            |
| Germany                                       | Lignite        | paper sludge, waste-derived fuel, premixed waste        | DBB         | 2 × 2100                       | 2 × 800                          | 1.9 % / 1.6 %              | Mixing with lignite before pulverisation                   |
| Germany                                       | Coal           | Sewage sludge, petroleum coke                           | DBB         | 1870                           | 824                              | < 5 %                      |                                                            |
| Germany                                       | Lignite        | Sewage sludge, meat/bonemeal                            | DBB         | 1524                           | 500                              | < 2 %                      | Mixing with lignite before pulverisation                   |
| Germany                                       | Coal           | Sewage sludge                                           | DBB         | 1125                           | 474                              | < 5 %                      |                                                            |
| Germany                                       | Coal           | Sewage sludge, waste-derived fuel, meat/bonemeal        | WBB         | 887                            | 320                              | 1 %                        |                                                            |
| Germany                                       | Coal           | Waste-derived fuel, paper sludge, sewage sludge         | CFBC        | 89                             | 20                               | < 20 %                     |                                                            |
| Germany                                       | Lignite        | Sewage sludge, waste-derived fuel, waste wood & biomass | CFBC        | 550                            | 107                              | < 25 %                     | 2 CFBC boilers                                             |
| Germany                                       | Lignite        | Sewage sludge                                           | CFBC        | 732                            | 201                              | < 25 %                     |                                                            |
| Sweden                                        | Biomass, peat  | Solid waste fuel                                        | CFBC        | 138                            | 45                               | 8.0 %                      |                                                            |
| Sweden                                        | Biomass        | Waste wood, solid waste                                 | Other       | 74                             | 16                               | Varying                    | Degree of co-incineration over 25 %                        |

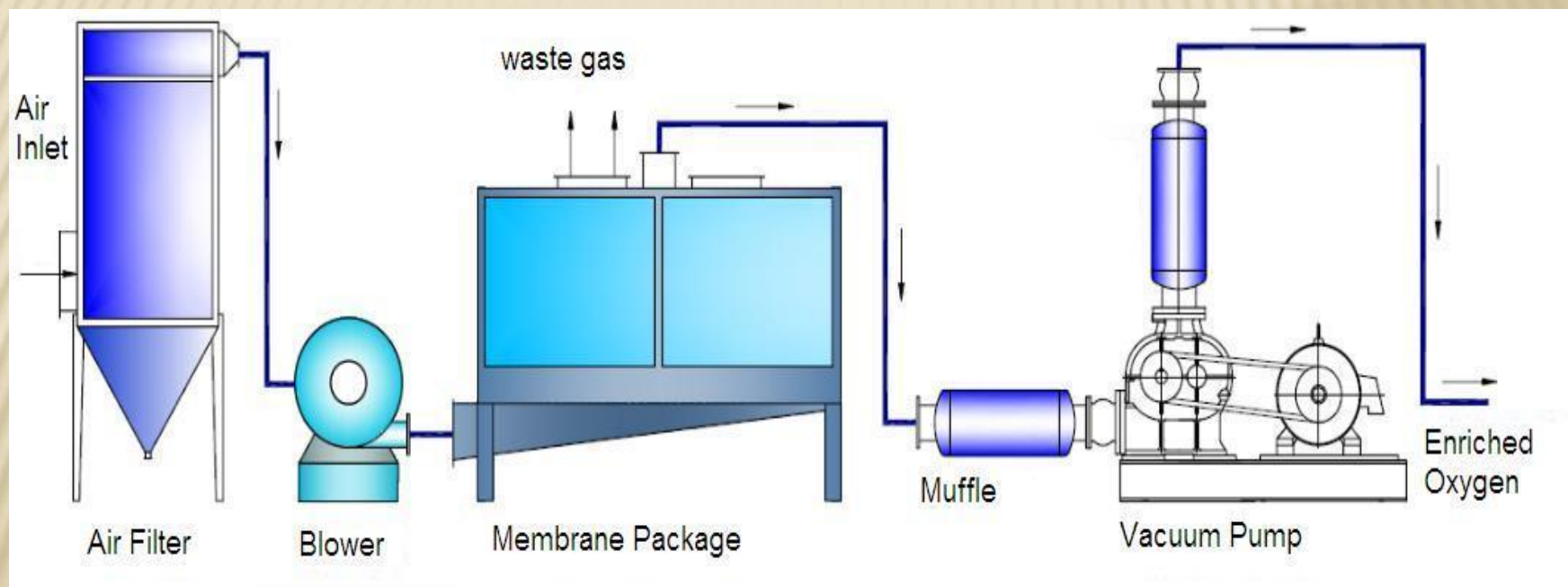
NB:

DBB: dry-bottom boiler; WBB: wet-bottom boiler; CFBC: circulating fluidized bed combustion.

## Схема комплексу переробки ОСВ з використанням газогенераторів



Установка збагачення повітря киснем



# IV МІЖНАРОДНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ ФОРУМ “ВОДА & ЕНЕРГІЯ”



## Склад генераторного газу з ОСВ

| №<br>п/п                          | Компоненти                            | Склад генераторного газу |                    |                    |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
|                                   |                                       | Дуття збагачене киснем   |                    | Повітряне дуття    |
|                                   |                                       | 28% O <sub>2</sub>       | 38% O <sub>2</sub> | 21% O <sub>2</sub> |
| Характеристики генераторного газу |                                       |                          |                    |                    |
| 1                                 | H <sub>2</sub>                        | 11,26                    | 17,87              | 10,08              |
| 2                                 | N <sub>2</sub>                        | 53,45                    | 40,46              | 65,04              |
| 3                                 | CO                                    | 10,93                    | 10,52              | 11,25              |
| 4                                 | CH <sub>4</sub>                       | 4,55                     | 4,13               | 1,1                |
| 5                                 | CO <sub>2</sub>                       | 15,78                    | 22,2               | 11,32              |
| 6                                 | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>         | 1,3                      | 1,63               | 0,17               |
| 7                                 | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>         | 0                        | 0                  | 0                  |
| 8                                 | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>         | 0,12                     | 0,19               | 0,01               |
| 9                                 | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>         | 0,17                     | 0,31               | 0,02               |
| 10                                | iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>       | 0,05                     | 0,05               | 0                  |
| 11                                | nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>       | 0,11                     | 0,15               | 0                  |
| 12                                | H <sub>2</sub> O                      | 2,28                     | 2,49               | 1,01               |
|                                   | Теплота згоряння, ккал/м <sup>3</sup> |                          |                    |                    |
|                                   | вища                                  | 1268                     | 1495               | 723                |
|                                   | нижча                                 | 1175                     | 1378               | 679                |

# IV МІЖНАРОДНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ ФОРУМ “ВОДА & ЕНЕРГІЯ”



## Обробка мулових осадів в газогенераторах

| Opis próbki                              |                 |                 |                                  |
|------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| Nazwa oznaczenia                         | Symbol          | Jednostka miary | (*) Wartość ± niepewność pomiaru |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3         | $W_{ex}^r$      | %               | $3,2 \pm 0,3$                    |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3         | $W^a$           | %               | $7,4 \pm 0,4$                    |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3         | $W_l^r$         | %               | $9,7 \pm 0,5$                    |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3         | $A^d$           | %               | $28,1 \pm 5,6$                   |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3         | $A^r$           | %               | $25,4 \pm 5,1$                   |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3         | $A^a$           | %               | $26,0 \pm 5,2$                   |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.3  | $S_t^a$         | %               | $0,87 \pm 0,26$                  |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.3  | $S_t^d$         | %               | $0,94 \pm 0,28$                  |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.3  | $S_t^r$         | %               | $0,84 \pm 0,25$                  |
| ciepło spalania wg PB-36 wyd. 2          | $Q_s^a$         | kJ/kg           | $15976 \pm 240$                  |
| wartość opałowa wg PB-36 wyd. 3          | $Q_i^a$         | kJ/kg           | $14940 \pm 224$                  |
| wartość opałowa wg PB-36 wyd. 3          | $Q_i^r$         | kJ/kg           | $14508 \pm 218$                  |
| zawartość chloru wg PB-37 wyd. 2         | $Cl^a$          | %               | -                                |
| zawartość części lotnych wg PB-35 wyd. 3 | $V_{850}^a$     | %               | -                                |
| zawartość części lotnych wg PB-35 wyd. 3 | $V_{850}^{daf}$ | %               | -                                |

| Opis próbki                               |                 |                 |                                  |
|-------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| Nazwa oznaczenia                          | Symbol          | Jednostka miary | (*) Wartość ± niepewność pomiaru |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3          | $W_{ex}^r$      | %               | $0,1 \pm 0,01$                   |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3          | $W^a$           | %               | $0,15 \pm 0,01$                  |
| zawartość wilgoci wg PB-24 wyd.3          | $W_l^r$         | %               | $0,2 \pm 0,04$                   |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3          | $A^d$           | %               | $95,86 \pm 0,96$                 |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3          | $A^r$           | %               | $95,62 \pm 0,96$                 |
| zawartość popiołu wg PB-25 wyd.3          | $A^a$           | %               | $95,72 \pm 0,96$                 |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.4   | $S_t^a$         | %               | $0,21 \pm 0,03$                  |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.4   | $S_t^d$         | %               | $0,21 \pm 0,03$                  |
| zawar. siarki całkowitej wg PB-26 wyd.4   | $S_t^r$         | %               | $0,21 \pm 0,03$                  |
| ciepło spalania wg PB-49 wyd.1            | $Q_s^a$         | kJ/kg           | $1559 \pm 120$                   |
| wartość opałowa wg PB-49 wyd.1            | $Q_i^a$         | kJ/kg           | $1507 \pm 120$                   |
| wartość opałowa wg PB-49 wyd.1            | $Q_i^r$         | kJ/kg           | $1503 \pm 110$                   |
| zawartość chloru wg PB-37 wyd. 2          | $Cl^a$          | %               | -                                |
| zawartość części lotnych PN-G-04516: 1998 | $V_{850}^a$     | %               | -                                |
| zawartość części lotnych PN-G-04516: 1998 | $V_{850}^{daf}$ | %               | -                                |

| Nazwa oznaczenia                | Symbol | Jednostka miary | (*) Wartość ± niepewność pomiaru |
|---------------------------------|--------|-----------------|----------------------------------|
| Zawartość węgla wg PB-05 wyd. 4 | $C_t$  | %               | $4,3 \pm 0,2$                    |
| Zawartość wodoru                | $H_t$  | %               | -                                |
| Zawartość azotu                 | $N^a$  | %               | -                                |



## ТЕО створення комплексу для міста Чернігів

### Сушка

Забезпечує зниження маси мулових залишків, що надходять на переробку з 135 т / добу з вологістю 80% до 27 т / добу з вологістю 10%, випаровуючи близько 105 т / добу вологи.

### Виробництво

Електроенергії - 4605 МВт·годин / рік

Теплової енергії - 3960 Гкал

Капітальні витрати - 53,760 млн.грн.

### Термін окупності

Електроенергія за "зеленим тарифом" 3,2 року

Електроенергія на власні потреби 6,3 року

Дякуємо за увагу

Координати для зв'язку  
Інститут газу НАН України  
Відділ технологій альтернативних палив  
П'яних К.Є.[pyanykh67@gmail.com](mailto:pyanykh67@gmail.com)  
Тел. (044) 4533134

---