

# ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВИРОБНИЧИХ АГРЕГАТІВ

# ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ

Ексергетичний аналіз - це аналіз роботи тепловикористовуючих установок з урахуванням якісних відмінностей розташовуваних енергоресурсів і незворотності реальних робочих процесів на основі спільного використання першого і другого законів термодинаміки .

# Ексергетичний метод має більші можливості, в його рамках можна проводити:

- оцінку термодинамічної ефективності різних технологічних процесів;
- виявлення ступеня незворотності розглянутих технологічних процесів;
- виявлення і кількісне визначення втрат, які взагалі не виявляються при ентальпійного аналізі (за першим законом), втрати від незворотності процесів горіння, теплообміну, змішання, дроселювання;
- розробку рекомендацій термодинамічної вдосконалення процесів.

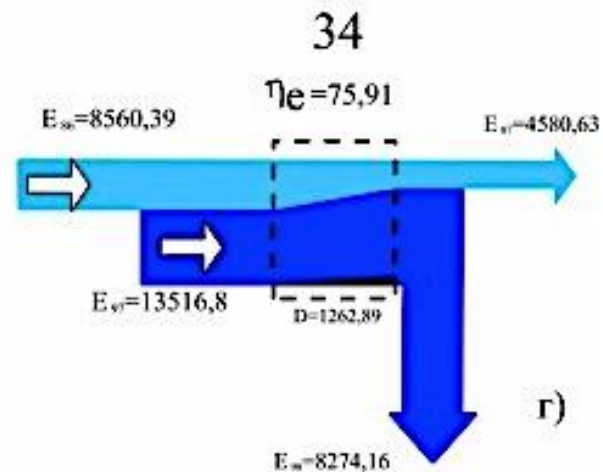
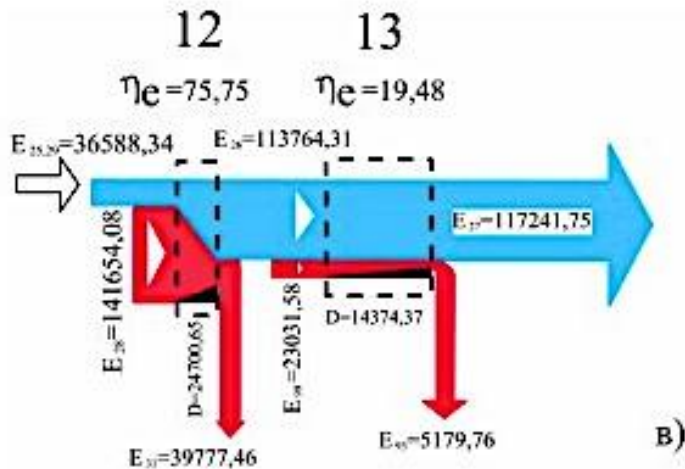
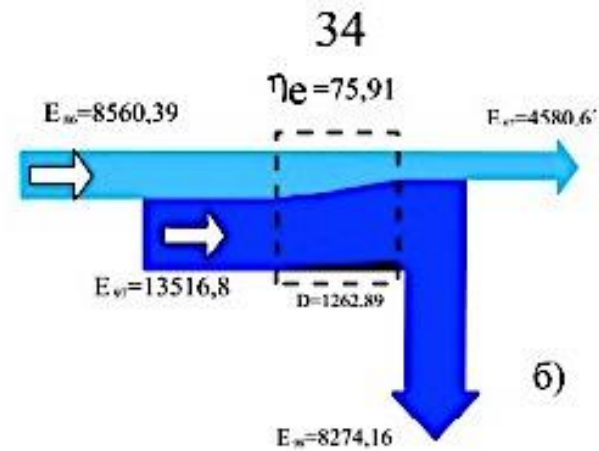
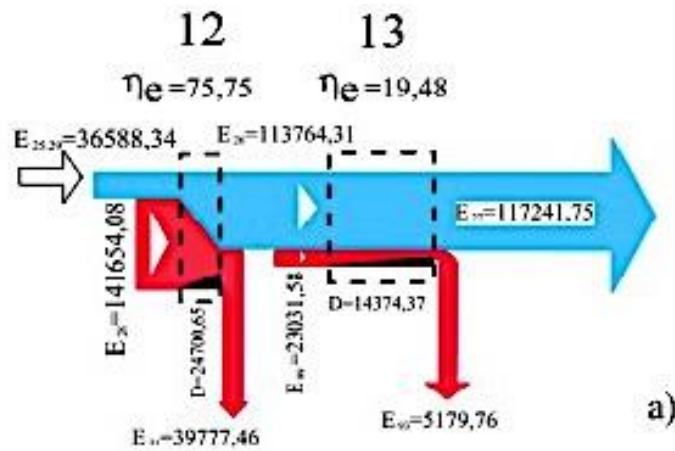
# Поняття ексергії

В основі ексергетичного аналізу лежить поняття ексергії (максимальна робота, яку може виконати термодинамічна система при переході від поточного стану до стану термодинамічної рівноваги).

Розрізняють два види ексергії :

- ексергію таких форм енергії, які не визначаються ентропією (механічні, електричні, електромагнітні та інші види енергії)
- ексергію потоків речовини і енергії (форми енергії, наприклад, внутрішня енергія речовини, енергія хімічних зв'язків, теплового потоку, які характеризуються ентропією).

На діаграмах Сенкі елементи досліджуваної схеми з'єднуються зображеннями потоків у вигляді смуг. Ширина цих смуг відповідає величинам енергетичних і ексергетичної потоків. На рис.1.1 наведені теплові (а, б) і ексергетичні (в, г) діаграми для підігрівачів (а, в) і холодильника (б, г).



*Каждую форму енергії можна представити як суму неограниченно перетворюваної та неперетворюваної енергії.*

Першу З. Рант назвав ексергією, а другу анергією (рис. 1.2). Завдання виробництва енергії полягає в перетворенні первинної енергії у корисну роботу або електроенергію. Саме цей продукт енергетики і споживається в технологічному процесі. При цьому ексергія перетворюється в анергію. Таким чином, для реалізації технологічного процесу потрібна тільки ексергія, яка вважається мірою працездатності енергії.

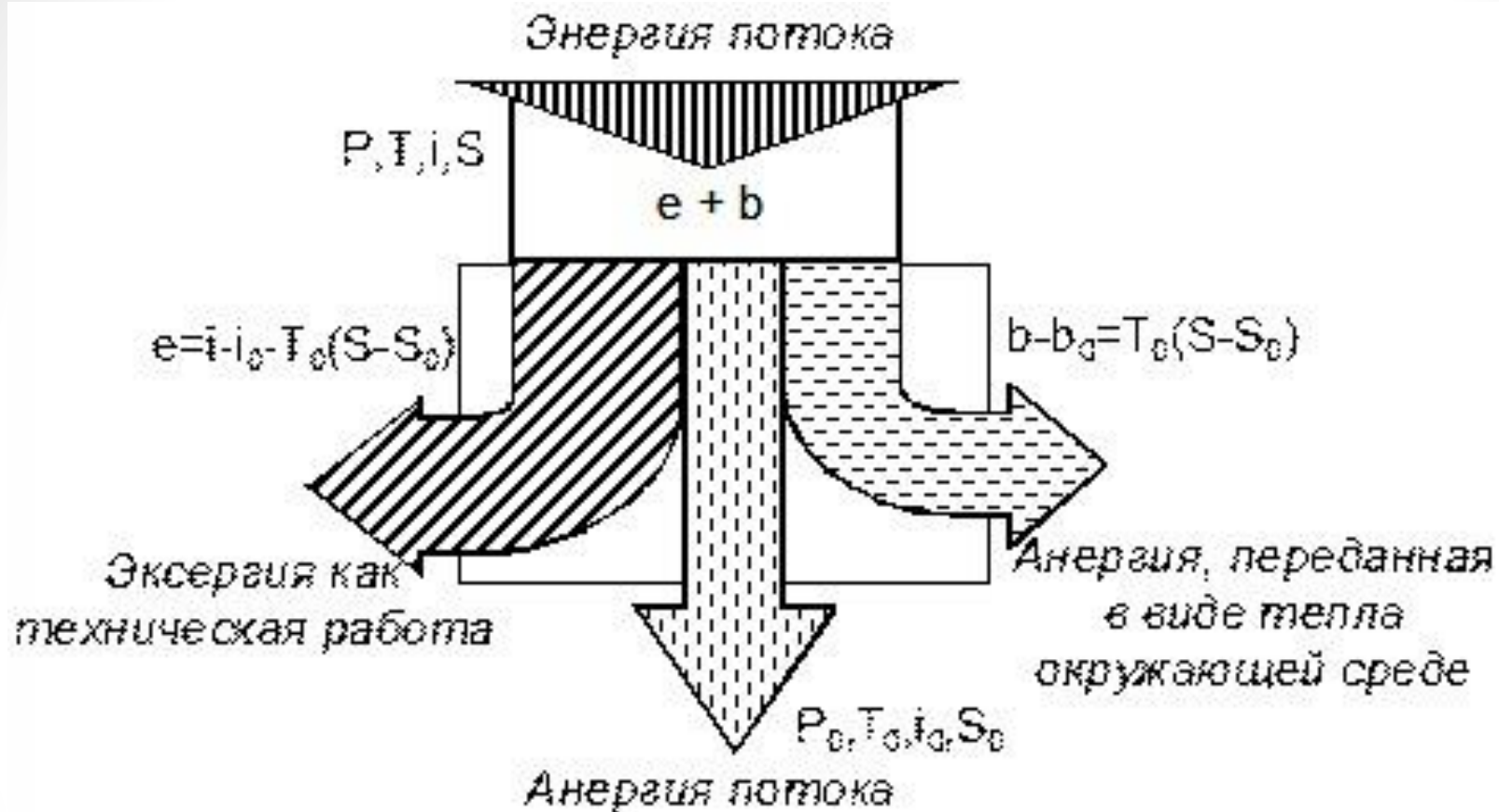


Рисунок 1.2- Эксергия і анергія перегрітої пари

Ексергія речовини в замкнутому об'ємі з термодинамічними параметрами  $U$ ,  $S$ ,  $T$ ,  $p$  і  $V$  визначається співвідношенням :

$$e_v = (U - U_0) - T_0(S - S_0) + p_0(V - V_0),$$

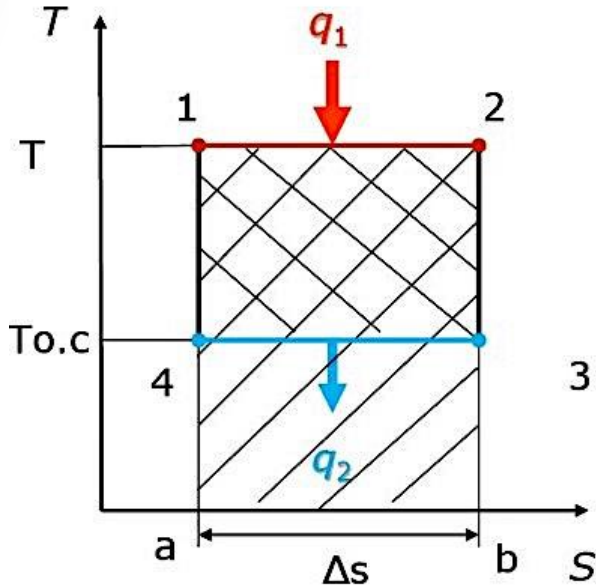
де  $e_v$  - питома (на одиницю маси) ексергія речовини;

$U_0$ ,  $S_0$ ,  $T_0$ ,  $p_0$ ,  $V_0$  - внутрішня енергія, ентропія, температура, тиск і об'єм речовини при повній рівновазі аналізованої системи з навколишнім середовищем.

Формула виражає ексергію речовини в замкнутому об'ємі в процесі, що завершується вирівнюванням відповідних параметрів системи і середовища.



# Эксергия потока теплоты



- Воспринимаемая теплота рабочим телом от горячего источника

$$q_1 = T \Delta s = \text{пл. } 123ba41$$

- Эксергия теплоты

$$e_q = l = q_1 - T_{\text{о.с.}} \Delta s = \text{пл. } 1234$$

- Непревратимая в работу часть теплоты

$$T_{\text{о.с.}} \Delta s$$

При розрахунках ексергії робочого тіла (носія ексергії) в замкнутій системі в двох різних станах рівняння приводиться до виду:

$$\Delta e_v = \Delta U - T_0 \Delta S + p_0 \Delta V ,$$

де  $e_v$  - Зміни параметрів речовинами при переході з одного стану в інший.

Необхідність визначення ексергії в замкнутому об'ємі виникає найчастіше при розрахунках періодичних процесів и установок періодичної дії, в яких робоче тіло не виходе за межі даної системи.

Хімічну складову ексергії, пов'язану з термодинамічними параметрами хімічної реакції, розраховують, використовуючи різні напівемпіричні співвідношення. Так, для газів і рідин встановлені співвідношення між їх хімічної ексергією і вищої теплотою згоряння наприклад, у процесах випарювання, ректифікації та сушіння ексергію палива знаходять за формулою:

$$e_x = K Q_B^{ст} ,$$

де коефіцієнт  $K$  дорівнює 0,975 (гази ) і 0,95 (рідини), якщо в молекулі речовини міститься більше одного атома  $C$ .

Для інших речовин, наприклад газів  $K$ : 0,97 (генераторний газ) , 0,98 ( колошниковий газ), 1,0 (коксовий газ), 1,04 (природний газ).

У випадку твердих палив з урахуванням вмісту вологи  $W$  хім. ексергію можна з достатньою для практичних цілей точністю прийняти рівною їй, то  $Q_B^{cg}$ ,

$$e_x = (1 - W)Q_B^{cg}.$$

Температура палива зазвичай близька до температури навколишнього середовища, тому необхідність брати до уваги в розрахунках їх термомеханічну ексергію не виникає; виняток становить важке рідке паливо (мазут), яке для зниження його в'язкості, як правило, підігрівають до 70-100 °С.

# *Ексергетичні діаграми*

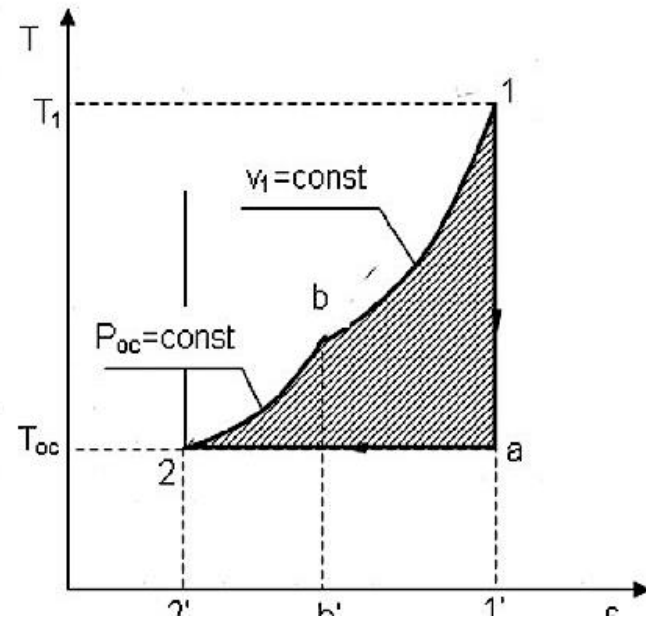
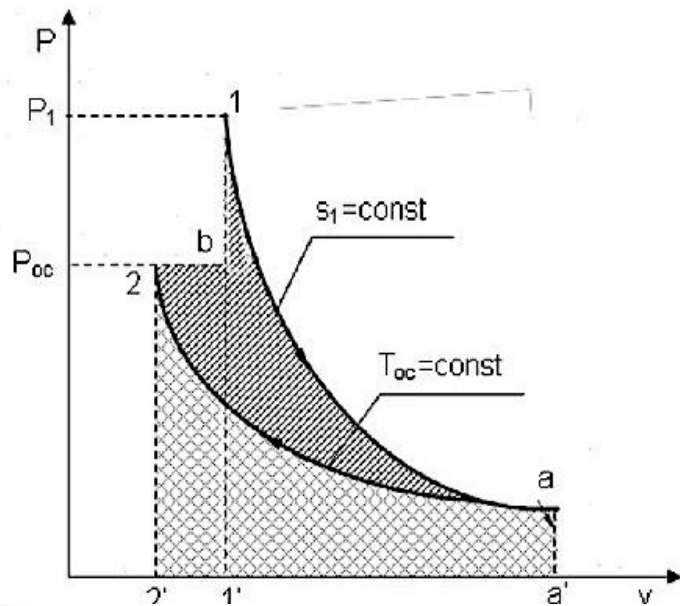
Для аналізу ефективності функціонування промислових систем існують ексергетичні діаграми, або діаграми Грассмана, на яких потоки ексергії в системі зображені в певному масштабі по "ширині", пропорційної їх чисельним значенням. Діаграми наочно показують втрати ексергії в системі, місця їх появи і перерозподілу між елементами даного об'єкта.

Наведена діаграма з двома вхідними матеріальними потоками, яким відповідають ексергії  $E'_1$  і  $E'_2$ .

# Эксергия на диаграммах

Эксергия идеального газа, имеющего параметры  $P_P, T_P, v_P, u_P, s_P$ , представлена в виде

площади **1a2b1**



У результаті взаємодії цих потоків на виході з системи отримують цільові продукти з ексергією і побічний продукт з ексергією. Сума + менше сумарної ексергії вхідних потоків на величину внутрішніх втрат (обумовлених необоротністю тепло - і масообміну в системі) і зовнішніх втрат у навколишнє середовище.

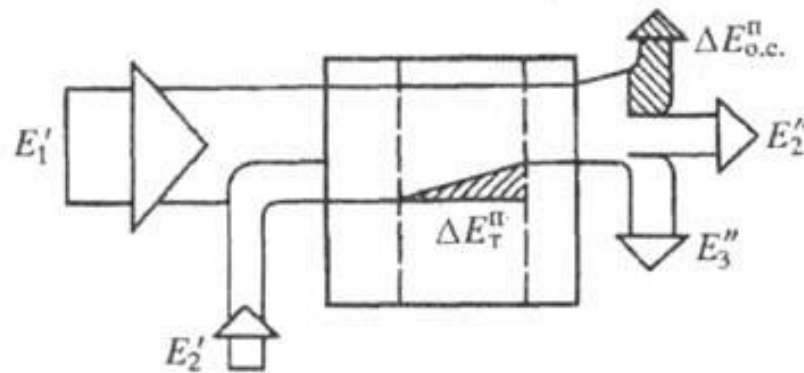


Рисунок 1.3- Діаграма Грассмана для з двома вхідними матеріальними потоками

# Ексергія теплового потоку

Функціонування промислових систем виробництва в тій чи іншій мірі обумовлено обміном енергією з навколишнім середовищем. При передачі енергії від одного тіла до іншого або до середовища у формі теплового потоку зменшується його максимально роботоможливість. Якщо приймачем теплоти служить навколишнє середовище з температурою  $T_0$ , питома ексергія теплового потоку, що має температуру  $T$ , становить:

$$e = q \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right).$$



# Ексергетичний ккд системи

Діаграми Грассмана і безпосередньо ексергетичний баланс у формі рівняння дозволяють знайти кількість, показники ефективності роботи аналізованої ХТМ. Серед цих показників найбільш поширений ексергетичний ккд визначається співвідношенням :

$$\eta_e = \sum E_{пз} / \sum E_з = (\sum E_з - \sum \Delta E_{о.с.}^п) / \sum E_з ,$$

де  $\sum E_{пз}$  - сума потоків ексергії, що відображає корисний ефект від функціонування системи;

$\sum E_з$  - повні витрати ексергією на досягнення заданого ефекту.

# Ексергетичний баланс

Рівняння ексергетичного балансу :

$$E_T + E_{\Phi.K} + E_{\Phi.M} + E_{ЭКЗ} = E_M + E_{ЭНД} + E_{T.O} + \\ + E_{ГОР} + E_{O.C} + E_{T/O} + E_{ОТХ}$$

де  $E_T = Ve_T$  - ексергія палива , кДж / с ( $V$  - витрата палива ,  $m^3 / с$  ( кг / с);

$e_T$  - питома ексергія палива кДж/ $m^3$  (кДж/кг).  
Наближено  $e_T \cong Q_H^p$  - теплоті згоряння палива)

$E_{\Phi.K}$  - фізична ексергія компонентів горіння ;

# Фізична ексергія КОМПОНЕНТІВ ГОРІННЯ

$$E_{\text{ф.к}} = E_{\text{ф.вз}} + E_{\text{ф.г}} = B(V_{\text{вз}}e_{\text{ф.вз}} + e_{\text{ф.г}}),$$

де ( $V_{\text{вз}}$  - витрата повітря для спалювання  
одиниці палива ,  $\text{м}^3/\text{кг}$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$  );

$e_{\text{ф.вз}}, e_{\text{ф.г}}$  - питома ексергія, відповідно,  
нагрітого повітря і газового палива;

$E_{\text{ф.вз}}, E_{\text{ф.г}}$  - фізична ексергія повітря і  
газового палива відповідно);

# Фізична ексергія компонентів шихтових матеріалів

$$E_{\text{Ф.М}} = \sum (G_{M_i} e_{M_i}),$$

де  $G_{M_i}$  - масова витрата  $i$ -го компонента шихтових матеріалів, кг/с;

$e_{M_i}$  - питома ексергія  $i$ -го компонента шихтових матеріалів;

# Ексергія екзотермічних реакцій КОМПОНЕНТІВ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Рівність  $e_T \cong Q_H^p$  справедлива лише для вугілля, метану, коксового і світильних газів; для рідкого палива  $e_T \cong 0.975 Q_H^p$ ; для газів, що мають більше одного атома вуглецю  $e_T \cong 0.95 Q_H^p$ ,

$$E_{\text{ЭКЗ}} = \sum (G_{M_i} e_{\text{ЭКЗ}_i}),$$

де  $e_{\text{ЭКЗ}_i}$  - питома ексергія екзотермічної реакції  $i$ -го компонента шихтових матеріалів);

$G_{M_i}$  - витрата ексергії для нагріву шихтових матеріалів;

# Ексергія ендотермічних реакцій КОМПОНЕНТІВ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

$$E_{\text{ЭНД}} = \sum (G_{M_i} e_{\text{ЭНД}_i}),$$

де  $e_{\text{ЭНД}_i}$  - питома ексергія ендотермічної реакції  $i$ -го компонента шихтових матеріалів;

Витрата ексергії на нагрів технологічних відходів:

$$E_{\text{T.O}} = G_{\text{T.O}} e_{\text{T.O}}$$

$G_{\text{T.O}}$  - масова витрата технологічних відходів;

$e_{\text{T.O}}$  - питома ексергія технологічних відходів;

# Втрата ексергії через незворотного процесу горіння палива

$$E_{ГОР} = B(e_T + V_{ВЗ}e_{Ф.ВЗ} - V_{П.С}e_{П.С}),$$

де  $V_{П.С}$  - витрата продуктів згорання при спалюванні одиниці палива,  $\text{м}^3/\text{м}^3(\text{м}^3/\text{кг})$ ;

$e_{П.С}$  - питома ексергія продуктів згорання,  $\text{кДж}/\text{м}^3$ ;

# Втрата ексергії в камері печі внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем

$$E_{o.c} = Q_{o.c} \left( 1 - \frac{T_o}{T_{п,с}} \right),$$

де  $Q_{o.c}$  - сумарний відвід тепла в навколишнє середовище , приймається з енергетичного балансу , кДж/с;

$T_o$  - температура навколишнього середовища, К;

$T_{п,с}$  - середня термодинамічна температура продуктів згоряння, К.



# Література

- Навчально-методичний посібник “ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ” А.О. Чейлитко