

УДК 621.311

О.С. Бешта, д-р. техн. наук, проф.

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: beshtaA@nmu.org.ua

ПРИНЦИПИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ ГЕОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

O.S. Beshta, Dr. Sci. (Tech.), Professor

State Higher Educational Institution "National Mining University",
Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: beshtaA @nmu.org.ua

PRINCIPLES OF GEOTECHNICAL SYSTEM PRODUCTION COMPLEXES POWER EFFICIENCY IMPROVEMENT

Наведено принципи енергоефективного підвищення рівня продуктивності технологічного процесу, покращення його енергетичної ефективності за рахунок збільшення загального ККД перетворення і передачі енергії технологічного обладнання при послідовній, паралельній та змішаній взаємодії проміжних перетворювачів енергії. Запропоновано принцип класифікації проміжних перетворювачів енергії технологічного процесу за рівнем впливу на енергоефективність.

Ключові слова: енергетична ефективність, коефіцієнт корисної дії, перетворення енергії, технологічний процес, технологічне обладнання, продуктивність, втрати енергії

Виробничі комплекси (ВК) є основними складовими геотехнічної системи (ГТС) використання ресурсів і виробництва продукції. Вони об'єднують технологічне обладнання (ТО), пов'язане технологічним процесом (ТП).

Під технологічним процесом ми розуміємо деякий вид діяльності людини, на який витрачаються певні види фінансових, матеріальних, енергетичних та трудових ресурсів. При цьому втрати сировини й енергії є невід'ємною частиною будь-якого технологічного процесу. Ці втрати можна розділити на два класи: 1) втрати, пов'язані із перетворенням одного виду енергії в інший у процесі виробництва (природні втрати); 2) втрати, що викликані неефективним функціонуванням виробничого комплексу (додаткові втрати).

При неефективному функціонуванні виробничого комплексу можуть також траплятися втрати фінансових та трудових ресурсів.

Таким чином, для підвищення ефективності функціонування ВК та ГТС використання ресурсів і виробництва продукції необхідно визначити, перш за все, причини виникнення додаткових втрат.

Кожний технологічний процес має свій життєвий цикл і свою структуру. Структура ТП визначає зв'язки між процесами, технологічними установками та системами всередині технологічного процесу, що розглядається, а також ступінь його організації.

Правильна організація зв'язків між елементами структури ТП дозволяє досить часто підвищити його ефективність. Це питання стосується технологічного менеджменту і далі розглядатися не буде.

Життєвий цикл ТП має період його відпрацювання (становлення), період сталого (ефективного) функціонування та період старіння (деградації).

Якась частина життєвого циклу технологічного процесу може бути достатньо фінансово прибутковою і конкурентоздатною, але, при цьому, функціонувати неефективно з точки зору мінімуму втрат ресурсів. Тому при розгляданні питання ефективності роботи ТП слід мати на увазі, перш за все, мінімізацію втрат ресурсів, що його забезпечують.

У період найвищої ефективності ТП стає ресурсом більш глобального процесу. У цей час ТП набуває рис, які притаманні ресурсам у контексті готової продукції, що випускається в результаті реалізації цього ТП. Наприклад, електрична енергія, що виробляється тепловими, атомними, гідроелектростанціями, є енергетичним ресурсом, хоча за цим ресурсом стоять складні технологічні процеси добування, транспортування, переробки і перетворення енергії первинних енергоносіїв у електричну енергію. Металеві зливки є матеріальним ресурсом у технологічному процесі виготовлення металевої продукції, однак вони самі є продуктом певних технологічних процесів.

Найбільш актуальним є підвищення ефективності роботи ТП у період його старіння. Саме у цей час збільшуються втрати на отримання цього ресурсу. Коли фінансові витрати через збільшення втрат від деградації стають порівняльними із фінансовими витратами на отримання ресурсу, такий ресурс стає збитковим і вимагає заміни на інший.

У період деградації прибутковість технологічного процесу можливо підвищити за рахунок збільшення його продуктивності при заданих обмеженнях на якість готової продукції та/або фізичні можливості

ТО. Оцінка конкурентоспроможності ТП, таким чином, може бути виконана за допомогою визначення величини максимальної продуктивності складових елементів структури ТП, а саме технологічного обладнання, що забезпечує процес.

У залежності від структури ТП можливо оцінювати його продуктивність шляхом визначення максимальної продуктивності однієї одиниці технологічного обладнання, що послідовно включена у процес, або декількох одиниць ТО, включених у ТП паралельно.

Теоретично гранична продуктивність ТО визначається максимальною паспортною продуктивністю і встановленою потужністю його привода. Практично вона залежить від технічного стану ТО і привода. Тому досить актуальним є визначення реального технічного стану системи „ТО-привід“ шляхом постійного або періодичного моніторингу роботи такої системи.

Можна виділити три основні групи параметрів, що впливають на ефективність ТП і технічний стан обладнання.

Технологічні параметри ТП визначають спосіб виробництва готової продукції й ефективність цього способу.

Експлуатаційні параметри ТП визначають умови і режими роботи систем „ТО-привід“ у складі ТП.

Конструктивні параметри ТП визначають реальний стан засобів виробництва – систем „ТО-привід“.

Необхідне узгодження технологічних, експлуатаційних та конструктивних параметрів для отримання максимальної ефективності роботи системи „ТО-привід“, інакше можна не досягти поставленої мети. Саме комплексний вплив на технологічні, експлуатаційні та конструктивні параметри ТП і систем „ТО-привід“ у складі ТП дозволить зменшити питомі ресурсні затрати на одиницю продукції.

Таким чином, ступінь продуктивності ТО визначається його максимальною продуктивністю, а ступінь деградації – відповідними витратами ресурсів на його забезпечення.

Значення відношення величини продуктивності до величини ресурсних затрат на продуктивність представляє собою показник питомих ресурсних затрат на одиницю продукції ТО і може виступати як показник ефективності роботи ТО.

Розглядаючи тільки одну з компонент ресурсного забезпечення ТП, а саме – електроенергетичну, можемо визначити показник електроенергетичної ефективності роботи окремої системи „ТО-електропривід“ як відношення величини його продуктивності до величини його електроенергетичних затрат.

Технологічний процес забезпечується технологічним обладнанням, яке знаходиться у взаємодії складним чином. За типом взаємодії технологічного обладнання в технологічному процесі можна розрізнити: 1) послідовну взаємодію; 2) паралельну взаємодію; 3) змішану взаємодію.

Прийmemo як критерій енергетичної ефективності технологічного процесу показник

$$e = Q/P_{ex}, \quad (1)$$

де Q – продуктивність технологічного устаткування; P_{ex} – споживана (вхідна) потужність технологічного обладнання, що витрачається на виконання корисної роботи і втрати.

Кожне технологічне обладнання має свою продуктивність, вхідну споживану потужність і втрати. Так i -е технологічне обладнання має продуктивність Q_i , на забезпечення якої і компенсацію втрат ΔP_i у технологічному обладнанні витрачається вхідна потужність $P_{ex,i}$.

Сумарний ККД технологічного процесу

$$\eta_{\Sigma} = 1 - \frac{\Delta P}{P_{ex}}$$

З очевидної умови підвищення рівня енергоефективності $d\eta_{\Sigma}/dP_{ex} \geq 0$, маємо у припущеннях з урахуванням формули (1)

$$\Delta Q > \left(\frac{Q}{\Delta P}\right) \cdot \Delta(\Delta P). \quad (2)$$

Із формули випливає **принцип енергоефективного підвищення продуктивності технологічного процесу**. Зростання продуктивності технологічного процесу ΔQ має бути вище за збільшення енергетичних втрат $\Delta(\Delta P)$ у технологічному обладнанні на величину, більшу, ніж існуюче співвідношення продуктивності технологічного обладнання і його енергетичних втрат.

Якщо умова (2) не задовольняється, то слід шукати шляхи зниження втрат у технологічному обладнанні.

Розглянемо принципи збільшення енергетичної ефективності технологічного процесу за рахунок збільшення загального ККД перетворення і передачі енергії технологічного обладнання, що забезпечує технологічний процес.

При послідовній взаємодії технологічного обладнання в рамках технологічного процесу (рис. 1) вхідна потужність P_{ex} залежить від якості багатократного перетворення енергії з одного виду в інший в ланцозі передачі корисної потужності від джерела енергії.

Якість передачі корисної потужності оцінюється загальним ККД процесу перетворення і передачі η_{Σ} , який визначається через вхідну потужність P_{ex} і втрати енергії в процесі її передачі ΔP . Вихідна потужність технологічного обладнання $P_{вих}$ є корисною потужністю, що витрачається на забезпечення продуктивності технологічного процесу Q .

Якщо в процесі перетворення бере участь декілька перетворювачів зі своїм ККД, то

$$\eta_{\Sigma} = \frac{P_{вих}}{P_{ex}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_i \cdot \dots \cdot \eta_n;$$

$$\eta_i = \frac{P_{i-1} - \Delta P_i}{P_{i-1}} = \frac{P_i}{P_i + \Delta P_i},$$

де η_i – ККД i -го перетворювача; ΔP_i – втрати енергії в i -му перетворювачі; P_{i-1} , P_i – відповідно

вхідна і вихідна потужності i -го перетворювача енергії.

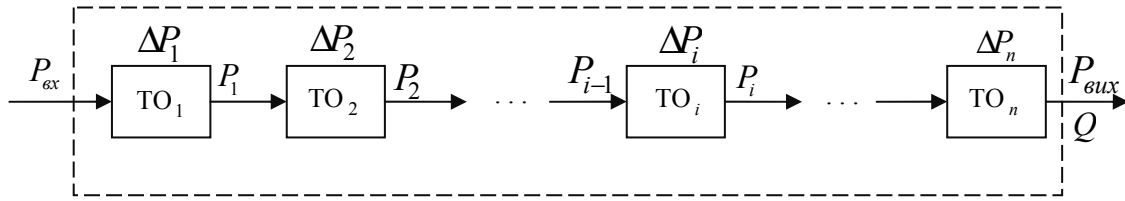


Рис. 1. Технологічний процес з послідовною взаємодією технологічного обладнання

При зміні ККД i -го перетворювача на величину $\Delta \eta_i$ зміна загального ККД $\Delta \eta_{\Sigma,i}$, пов'язаного з цим перетворювачем, матиме наступний вигляд

$$\eta_{\Sigma} + \Delta \eta_{\Sigma,i} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot (\eta_i + \Delta \eta_i) \cdot \dots \cdot \eta_n = \eta_{\Sigma} \cdot \left(1 + \frac{\Delta \eta_i}{\eta_i}\right) \quad (3)$$

Із формули (3) отримуємо для умови

$$\Delta \eta_{\Sigma,i} = \Delta \eta_{\Sigma,j} = \Delta \eta_{\Sigma};$$

$$\frac{\Delta \eta_{\Sigma}}{\eta_{\Sigma}} = \frac{\Delta \eta_1}{\eta_1} = \frac{\Delta \eta_2}{\eta_2} = \dots = \frac{\Delta \eta_i}{\eta_i} = \dots = \frac{\Delta \eta_n}{\eta_n} \quad (4)$$

Формула (4) відображає закономірність, яку можна сформулювати наступним чином.

Заданий відносний приріст загального ККД процесу перетворення енергії забезпечується однаковим відносним приростом ККД будь-якого проміжного перетворювача енергії, що бере участь у загальному процесі перетворення енергії для виконання технологічним устаткуванням корисної роботи.

Якщо забезпечити однаковий приріст ККД i -го і j -го перетворювачів, тобто $\Delta \eta_i = \Delta \eta_j = \Delta \eta$, то з формули (4) маємо

$$\Delta \eta_{\Sigma,i} = \Delta \eta_{\Sigma,j} \cdot \frac{\eta_j}{\eta_i} \quad (5)$$

Із наведеної закономірності випливає **принцип класифікації проміжних перетворювачів енергії технологічного процесу при їх послідовній взаємодії за рівнем впливу на енергоефективність**. При однаковому прирості ККД проміжних перетворювачів енергії більший приріст загального ККД перетворювача енергії дасть перетворювач із меншим базовим ККД. Тому для досягнення заданого приросту загального ККД процесу перетворення енергії слід обирати перетворювачі енергії в порядку зростання їх базових ККД.

Із цього принципу випливає важливий висновок.

Для підвищення загального ККД процесу перетворення енергії при послідовній взаємодії технологічного обладнання слід звертати увагу на перетворювач

з найменшим ККД і забезпечувати збільшення ефективності перетворення енергії саме в ньому.

Даний висновок обґрунтовується також і економічно, оскільки вартість підвищення ККД істотно нелінійно зростає зі збільшенням його бази.

Викладені вище результати є коректними за відсутності залежності ККД окремих перетворювачів енергії один від одного. Інакше слід врахувати цю залежність. Можна довести, що різниця між врахуванням або неврахуванням взаємозв'язків ККД перетворювачів складає величину приросту ККД 2-го порядку малості

$$(\Delta \eta_j \Delta \eta_i) / (\eta_j \eta_i)$$

Введемо позначення

$$\varepsilon_{j,i} = \frac{\Delta \eta_j}{\Delta \eta_i}$$

Це відношення відображає швидкість зміни ККД j -го перетворювача енергії при зміні ККД i -го перетворювача. Тоді формула (5) матиме загальний вигляд

$$\begin{aligned} \Delta \eta_{\Sigma,i} &= \eta_{\Sigma} \cdot \Delta \eta_i \cdot \left(\frac{\varepsilon_{1,i}}{\eta_1} + \frac{\varepsilon_{2,i}}{\eta_2} + \dots + \frac{1}{\eta_i} + \dots + \frac{\varepsilon_{j,i}}{\eta_j} + \frac{\varepsilon_{n,i}}{\eta_n} \right) = \\ &= \eta_{\Sigma} \cdot \Delta \eta_i \sum_{k=1}^n \left(\frac{\varepsilon_{k,i}}{\eta_k} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Із формули (6) випливає **принцип класифікації проміжних перетворювачів енергії технологічного процесу із залежними процесами перетворення енергії при їх послідовній взаємодії за рівнем впливу на енергоефективність**. При залежних процесах перетворення енергії потрібно, перш за все, підвищувати ККД того перетворювача енергії, в якого мінімальний базовий ККД і порівняно максимальна позитивна швидкість його зростання при збільшенні ККД тих перетворювачів енергії, що впливають на даний.

Паралельна взаємодія технологічного обладнання в єдиному технологічному процесі (рис. 2) передбачає незалежність процесів перетворення енергії в кожному технологічному обладнанні.

У такому разі загальний ККД технологічного обладнання визначиться як

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{вих,i}}{\sum_{i=1}^n P_{вх,i}} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{вх,i} \cdot \eta_i)}{\sum_{i=1}^n P_{вх,i}}, \quad (7)$$

де $P_{вх,i}$ – споживана (вхідна) потужність i -го технологічного обладнання, що витрачається на виконання корисної роботи і втрати; $P_{вих,i}$ – вихідна потужність i -го технологічного обладнання (корисна потужність), що витрачається на забезпечення продуктивності технологічного процесу; η_i – ККД i -го перет-

ворювача енергії; n – кількість паралельних перетворювачів енергії (технологічного обладнання).

Вираз (7) може бути перетворений до виду

$$\eta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (b_i \cdot \eta_i), \quad (8)$$

де

$$b_i = \frac{P_{вх,i}}{\sum_{k=1}^n P_{вх,k}}$$

Можна інтерпретувати коефіцієнт b_i у формулі (8) як ваговий коефіцієнт, що визначає міру впливу ККД відповідного технологічного обладнання на зміну загального ККД η_{Σ} .

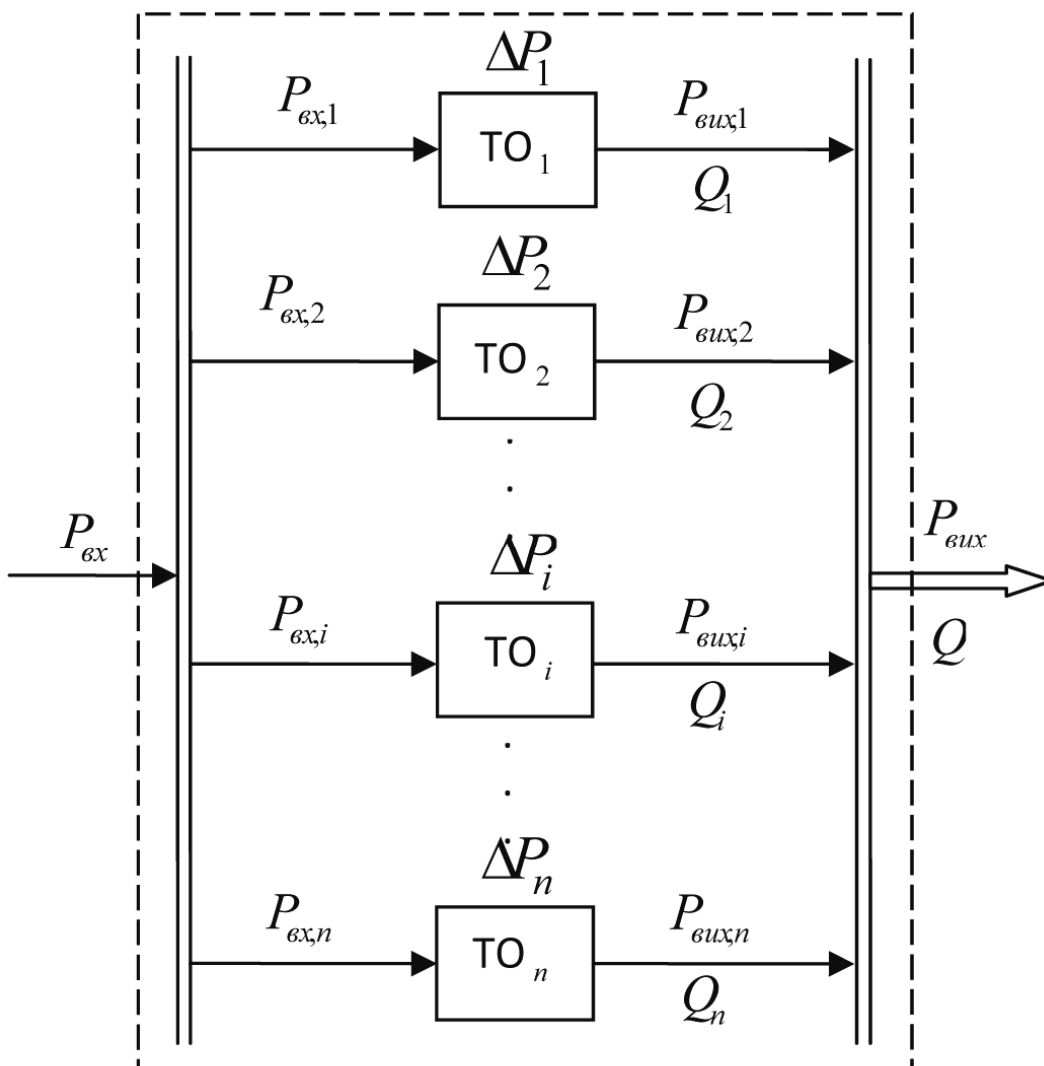


Рис. 2. Технологічний процес із паралельною взаємодією технологічного обладнання

Будемо вважати, що в i -му технологічному обладнанні можна досягти збільшення продуктивності $Q_i + \Delta Q_i$ і зростання ККД η_i на значення $\Delta \eta_i$. Збільшення продуктивності пов'язане зі зростанням ви-

хідної потужності, що витрачається на додаткову корисну роботу. Одночасно зростає вхідна потужність технологічного обладнання, що покриває зростання корисної потужності і потужності втрат.

Тому для i -го технологічного обладнання маємо

$$\eta_i + \Delta\eta_i = \frac{P_{\text{вух},i} + \Delta P_{\text{вух},i}}{P_{\text{ex},i} + \Delta P_{\text{ex},i}}, \quad (9)$$

де
$$\Delta\eta_i = \frac{\Delta P_{\text{вух},i} - \eta_i \cdot \Delta P_{\text{ex},i}}{P_{\text{ex},i} + \Delta P_{\text{ex},i}}.$$

Загальний ККД ТП також зростає

$$\eta_{\Sigma} + \Delta\eta_{\Sigma,i} = \sum_{k=1}^n (b_k \cdot \eta_k) + b_i' \cdot (\eta_i + \Delta\eta_i), \quad (10)$$

де $\Delta\eta_{\Sigma,i}$ – приріст ККД технологічного процесу, викликаний зростанням ККД i -го технологічного обладнання на $\Delta\eta_i$; b_i' – величина вагового коефіцієнта після зростання η_i на $\Delta\eta_i$.

Із формули (10), вочевидь, виходить

$$b_i' = \frac{P_{\text{ex},i} + \Delta P_{\text{ex},i}}{\sum_{k=1}^n P_{\text{ex},k} + \Delta P_{\text{ex},i}} = \frac{b_i + \Delta P_{\text{ex},i}^*}{1 + \Delta P_{\text{ex},i}^*}, \quad (11)$$

де
$$\Delta P_{\text{ex},i}^* = \frac{\Delta P_{\text{ex},i}}{\sum_{k=1}^n P_{\text{ex},k}}.$$

Можна показати, що при зміні $\Delta P_{\text{ex},i}^*$ у діапазоні (0...0,5) залежність (11) з точністю до 0,8% матиме вигляд

$$b_i' \approx b_i + \Delta P_{\text{ex},i}^*. \quad (12)$$

Підставляючи формулу (12) у вираз (10), отримуємо

$$\Delta\eta_{\Sigma,i} = b_i \cdot \Delta\eta_i + \Delta P_{\text{ex},i}^* \cdot (\eta_i + \Delta\eta_i). \quad (13)$$

У відносних одиницях формули (11) вираз (9) матиме вигляд

$$\eta_i + \Delta\eta_i = \frac{\eta_i + \frac{\Delta P_{\text{вух},i}^*}{b_i}}{1 + \frac{\Delta P_{\text{ex},i}^*}{b_i}}; \quad (14)$$

$$\Delta\eta_i = \frac{\frac{\Delta P_{\text{вух},i}^*}{b_i} - \eta_i}{1 + \frac{\Delta P_{\text{ex},i}^*}{b_i}}. \quad (15)$$

Підставивши вирази (14) і (15) у формулу (13), знаходимо

$$\Delta\eta_{\Sigma,i} = \Delta P_{\text{вух},i}^* = a_i \cdot \Delta P_{\text{ex},i}^*,$$

де
$$a_i = \frac{\Delta P_{\text{вух},i}^*}{\Delta P_{\text{ex},i}^*}.$$

Аналогічним чином отримавши результат для j -го технологічного обладнання, визначаємо співвідношення між прирощенням загального ККД технологічного процесу, якщо по черзі змінювати ККД i -го та j -го технологічного обладнання.

$$\Delta\eta_{\Sigma,i} = \Delta\eta_{\Sigma,j} \cdot \frac{\Delta P_{\text{вух},i}}{\Delta P_{\text{вух},j}} = \Delta\eta_{\Sigma,j} \cdot k_{i,j}.$$

Назвемо коефіцієнт $k_{i,j}$ коефіцієнтом впливу на загальний ККД технологічного процесу i -го технологічного обладнання, порівняно з j -м технологічним обладнанням.

Якщо $k_{i,j} > 1$, тобто $\Delta\eta_{\Sigma,i} > \Delta\eta_{\Sigma,j}$, то це означає, що підвищення ККД усього технологічного процесу слід починати зі збільшення ККД i -го, а не j -го технологічного обладнання.

Маючи вектор величин коефіцієнтів впливу всього технологічного обладнання в рамках технологічного процесу, можна скласти план заходів щодо підвищення ефективності технологічного процесу в цілому.

У загальному випадку коефіцієнт $k_{i,j}$ визначиться з формули

$$k_{i,j} = \frac{b_i \cdot \Delta\eta_i + \Delta P_{\text{ex},i}^* \cdot (\eta_i + \Delta\eta_i)}{b_j \cdot \Delta\eta_j + \Delta P_{\text{ex},j}^* \cdot (\eta_j + \Delta\eta_j)}. \quad (16)$$

Для його визначення за формулою (16) потрібно знати: сумарну споживану потужність технологічного процесу; споживану потужність, ККД і приріст вхідної потужності кожного технологічного обладнання при заданому збільшенні ККД

$$(\Delta\eta_i = \Delta\eta_j = \Delta\eta).$$

Отримати перераховану інформацію складно, тому формула (16) не має практичного значення.

Спростимо завдання, спростивши умови підвищення ефективності технологічного процесу:

1) зростання ефективності здійснюється за рахунок зниження втрат i -го технологічного обладнання;

2) зростання ефективності забезпечується за рахунок збільшення продуктивності i -го технологічного обладнання без зміни його ККД (тобто, лише за рахунок зростання продуктивності).

При першій постановці завдання продуктивність технологічного процесу збільшується за рахунок зниження втрат у i -му, або в j -му технологічному обладнанні. Тому $\Delta P_{\text{ex},i}^* = 0$, $\Delta P_{\text{ex},j}^* = 0$. Приймавши приріст ККД у i -му, або в j -му технологічному обладнанні однаковим, тобто $\Delta\eta_i = \Delta\eta_j = \Delta\eta$, із формули (16) отримуємо

$$k_{i,j} = \frac{b_i}{b_j} = \frac{P_{\text{ex},i}}{P_{\text{ex},j}}. \quad (17)$$

Із формули (17) виходить, що збільшення ефективності за рахунок зниження втрат i -го технологічного

ного обладнання тим вище, чим більше його споживана потужність, порівняно з j -м технологічним обладнанням.

Таким чином, **принцип класифікації перетворювачів енергії технологічного процесу при їх паралельній взаємодії за рівнем впливу на енергоефективність** наголошує наступне. При паралельній взаємодії технологічного обладнання технологічного процесу для зниження втрат енергії слід обирати перетворювачі енергії в порядку зменшення їх споживаної потужності. Споживана потужність технологічного обладнання є легко контролюваною і дозволяє збудувати послідовність операцій по збільшенню ефективності технологічного обладнання, що входять до технологічного процесу, залежно від цього показника.

У другому випадку ефективність технологічного процесу пов'язана з його продуктивністю. Зростання продуктивності одночасно спричиняє збільшення вхідної потужності, направленої на компенсацію зростання втрат у технологічного обладнання, і створення додаткової корисної потужності, пов'язаної зі зростанням продуктивності. При цьому пропорційне

зростання вихідної і вхідної потужності технологічного обладнання не спричиняє за собою зміни ККД технологічного обладнання, тобто $\Delta\eta_i = \Delta\eta_j = 0$. Тоді з формули (16) виходить

$$k_{i,j} = \frac{\eta_i \cdot \Delta P_{ex,i}}{\eta_j \cdot \Delta P_{ex,j}} \quad (18)$$

Із формули (18) можна зробити наступний висновок. Чим вище ККД технологічного обладнання, тим менше йому потрібно збільшувати споживану потужність для досягнення загального ККД технологічного процесу заданого рівня при зростанні продуктивності технологічного процесу за рахунок цього технологічного обладнання.

Змішану взаємодію технологічного обладнання (рис. 3). Потрібно привести до послідовно-паралельної взаємодії шляхом еквівалентування параметрів технологічного обладнання. Наприклад, 3-те і 4-те технологічне обладнання (рис. 3) можна замінити еквівалентним технологічним обладнанням (рис. 4).

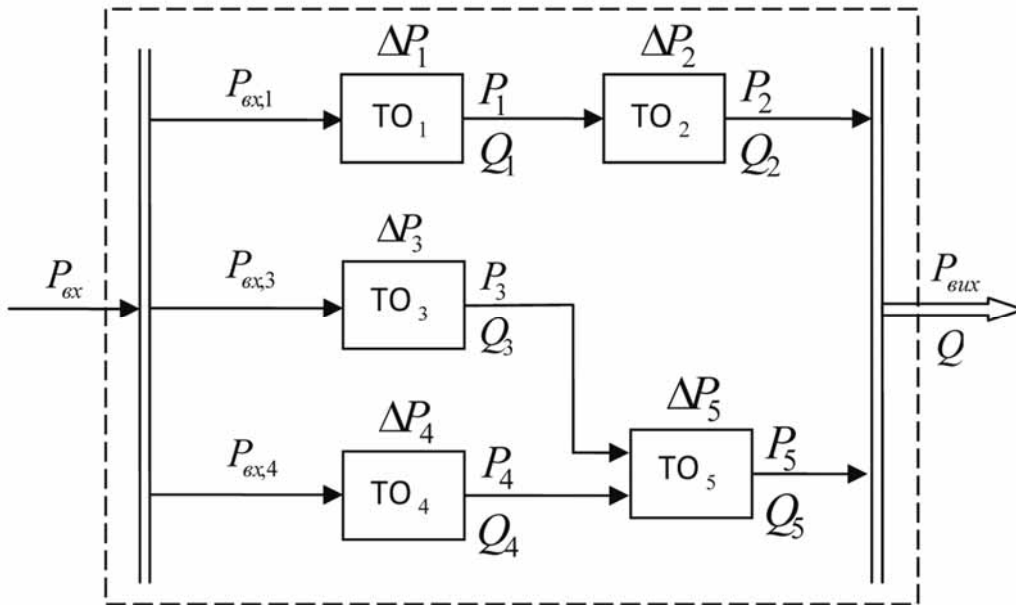


Рис. 3. Технологічний процес зі змішаною взаємодією технологічного обладнання

Для еквівалентного технологічного обладнання еквівалентні параметри мають вигляд

$$P_{e,вих} = P_{вих,1} + P_{вих,2};$$

$$P_{e,ex} = P_{ex,1} + P_{ex,2};$$

$$\eta_e = \frac{P_{ex,1} \cdot \eta_1 + P_{ex,2} \cdot \eta_2}{P_{ex,1} + P_{ex,2}}.$$

На процедуру підвищення ефективності роботи технологічного обладнання в рамках даного еквівалентного технологічного обладнання поширюються міркування по підвищенню ефективності технологічного процесу з паралельною взаємодією.

Виконавши дану процедуру в рамках еквівалентного технологічного обладнання, можна перейти до схеми вигляду (рис. 5).

У цій схемі аналіз ефективності технологічного процесу слід виконувати окремо по паралельних гілках із використанням рекомендацій з підвищення

ефективності технологічного процесу з послідовною взаємодією технологічного обладнання.

Отримавши раціональну процедуру з підвищення ефективності в кожній паралельній гілці схеми, слід

знову скористатися рекомендаціями для технологічного процесу з паралельною взаємодією технологічного обладнання.

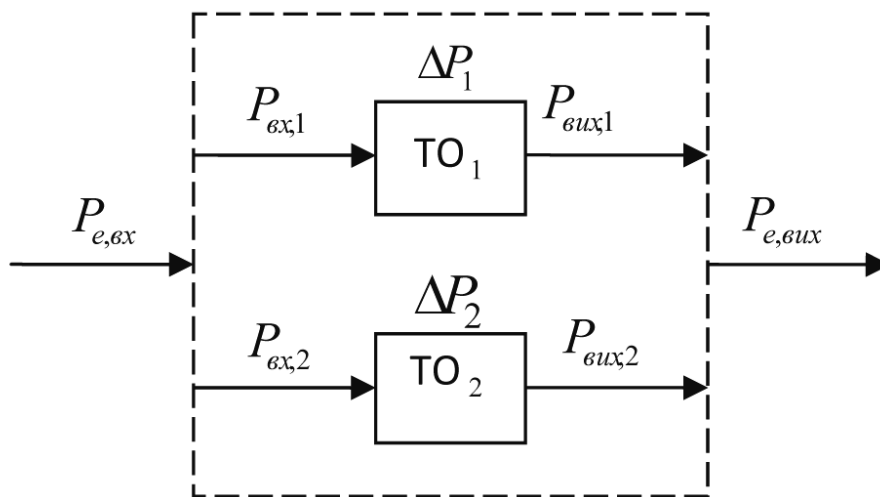


Рис. 4. Еквівалентне технологічне обладнання

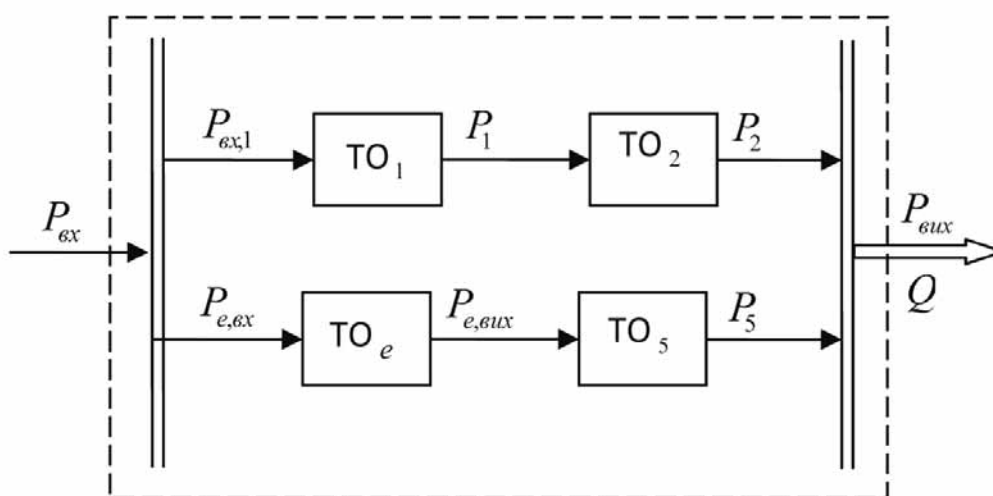


Рис. 5. Спрощена схема ТП зі змішаною взаємодією технологічного обладнання

Висновки. На основі наведених принципів підвищення енергоефективності технологічного процесу узагальнимо наступні правила.

1. Для досягнення мінімальних фінансових витрат, при збільшенні ефективності технологічного процесу на задану величину, слід керуватися певною стратегією підвищення ефективності технологічного обладнання, яка визначається видом взаємодії цього обладнання.

2. При послідовній взаємодії перетворювачів енергії і незалежних процесах перетворення в них найбільший приріст загального ККД технологічного про-

цесу дасть перетворювач з меншим базовим ККД. Тому послідовність, в якій підвищуватиметься ефективність технологічного обладнання, у цьому випадку, визначиться послідовністю значень їх базових ККД у порядку зростання.

3. При послідовній взаємодії перетворювачів енергії і залежних процесах перетворення енергії в них, перш за все, потрібно підвищувати ефективність того перетворювача енергії, в якого мінімальний базовий ККД і максимальна позитивна швидкість його зростання.

4. При паралельній взаємодії перетворювачів енергії в технологічному процесі для зниження втрат енергії слід обирати перетворювачі енергії у порядку зменшення їх споживаної потужності.

5. Змішана взаємодія технологічного обладнання приводиться до еквівалентної послідовної та/або паралельної взаємодії, на яку розповсюджуються розглянуті принципи класифікації обладнання за рівнем енергоефективності.

Приведены принципы энергоэффективного повышения уровня производительности технологического процесса, улучшения его энергетической эффективности за счет увеличения общего КПД преобразования и передачи энергии технологического оборудования при последовательном, параллельном и смешанном взаимодействии промежуточных преобразователей энергии. Предложен принцип классификации промежуточных преобразователей энергии технологического процесса по уровню влияния на энергоэффективность.

Ключевые слова: *энергетическая эффективность, КПД, преобразование энергии, технологический процесс, технологическое оборудование, производительность, потери энергии*

The article presents the principles of power efficient improvement of productivity level of the technological process, the principles of increasing its power efficiency by means of increasing the overall energy conversion and transfer efficiency of technological equipment with serial, parallel and mixed interaction of intermediate energy converters. The author suggests the principles of classification of intermediate power converters by the level of impact on energy efficiency.

Keywords: *energy efficiency, coefficient of performance, energy conversion, operating procedure, process equipment, performance, loss of energy*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ф.П. Шкрабцем. Дата знаходження рукопису 19.04.11