

## ЛЕКЦІЯ 5

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ УСТАНОВКАМИ

*Мета лекції – ознайомитися із заходами та засобами підвищення ефективності споживання електроенергії технологічними установками.*

Кожний вид виробництва – це різноманітність технологічних процесів і установок. Металургійна промисловість містить у своєму складі численні та різноманітні за призначенням і технологіями печі (доменні, мартенівські, сталеплавильні, нагрівальні, дугові, індукційні тощо) та прокатні стани. Хімічна, машинобудівна та інші галузі промисловості також відрізняються за технологічними процесами. Разом з цим у будь-яких технологіях широко застосовуються електричні двигуни, що споживають електроенергію. Тому у навчальному посібнику наведені можливі шляхи (способи) підвищення ефективності споживання електроенергії на прикладі установок, головним чином, вугільної промисловості: вентиляторів, насосів, підйомників, технологічного транспорту, компресорів, а також в елементах систем електропостачання. Стисло розглянуті освітлювальні установки і деякі питання зниження величини споживання реактивної потужності асинхронними двигунами.

#### 5.1. Вентиляторні установки

Вентилятори застосовуються для подачі газових сумішей, головним чином повітря, які використовуються для охолодження, обігріву або забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці. Прикладом можуть бути системи охолодження силових трансформаторів великої потужності, обмотки яких охолоджуються циркулюючим у баку і радіаторах трансформаторним маслом, а для інтенсивності відведення тепла використовуються вентилятори обдуву. Повітряний спосіб охолодження широко використовується у комп'ютерній техніці та багатьох інших пристроях. Вентилятори застосовують і для циркуляції повітря у приміщеннях, підземних спорудах, включаючи шахти, системах кондиціонування, аеродинамічних системах та у багатьох інших промислових і побутових технологічних процесах.

Для подачі повітря у потрібні зони використовують повітроводи у вигляді коробів або напрямних пристроїв. Цю функцію у підземних спорудах виконують гірничі виробки, які утворюють загальношахтну вентиляційну мережу.

До основних технічних і технологічних рішень, які знижують споживання електроенергії вентиляційними установками, відносять:

- підвищення ККД вентиляторів і систем електропривода;
- зменшення підсосів (витоків) повітря;
- зниження аеродинамічного опору вентиляційної мережі;
- узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі тощо.

### 5.1.1. Підвищення ККД вентиляторів і систем електропривода

Підвищити ККД вентилятора можна, усунувши дефекти, отримані при його монтажі, ремонті та налаштуванні. До основних дефектів, наприклад, осьового вентилятора, відносять: роботу з переверненим робочим колесом; недотримання радіального і осьового зазорів між робочим колесом і входним патрубком або між робочими лопатками і корпусом вентилятора; відсутність обтічника на вході осьового вентилятора; укорочений дифузор або його відсутність; розузгодженість кутів установки лопаток напрямного апарата.

Усуваючи вказані недоліки, можна підвищити ККД і відповідно знизити величину витрати електроенергії (кВт·год):

$$\Delta W = \frac{QH (\eta_2 - \eta_1) t_e}{1000 \eta_1 \eta_2 \eta_\delta \eta_m \eta_n}, \quad (5.1)$$

де  $Q$ ,  $H$  – відповідно подача ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) і тиск (Па) вентилятора, що визначаються за показаннями витратоміра і депресіометра (якщо тиск вимірюється у мм вод. ст., то перехід до тиску в Па виконують за співвідношенням 1 мм вод. ст. дорівнює 9,81 Па);  $t_e$  – час роботи вентилятора, год;  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  – ККД вентилятора відповідно до та після усунення дефекту;  $\eta_\delta$ ,  $\eta_m$ ,  $\eta_n$  – фактичні значення ККД двигуна, електричної мережі та передачі (у відцентрових вентиляторів):  $\eta_m = 0,93 - 0,97$ ,  $\eta_n = 0,95 - 0,97$ , а значення  $\eta_\delta$  залежить від типу двигуна (асинхронний, синхронний) та його фактичного завантаження, що характеризується відповідним коефіцієнтом  $K_z$  (див. п. 4.2 та залежність (4.1)).

Споживана потужність  $P_c$  (кВт), що входить до виразу (4.1), розраховується так:

$$P_c = \frac{\Delta W_{\text{ліч}} K_{\text{ліч}}}{24}, \quad (5.2)$$

де  $\Delta W_{\text{ліч}}$  – різниця показань встановленого на ввідному пристрої лічильника активної енергії за добу;  $K_{\text{ліч}} = K_{\text{мт}} K_{\text{мн}}$  – коефіцієнт лічильника;  $K_{\text{мт}}$ ,  $K_{\text{мн}}$  – відповідно коефіцієнти трансформації трансформаторів струму і напруги.

Після розрахунку фактичного завантаження привідних двигунів з використанням наведених у табл. 4.1 співвідношень для орієнтовних обчислень ККД як асинхронних, так і синхронних двигунів визначають відповідне даному завантаженню орієнтовне значення ККД двигуна  $\eta_\delta$  (у відносних одиницях).

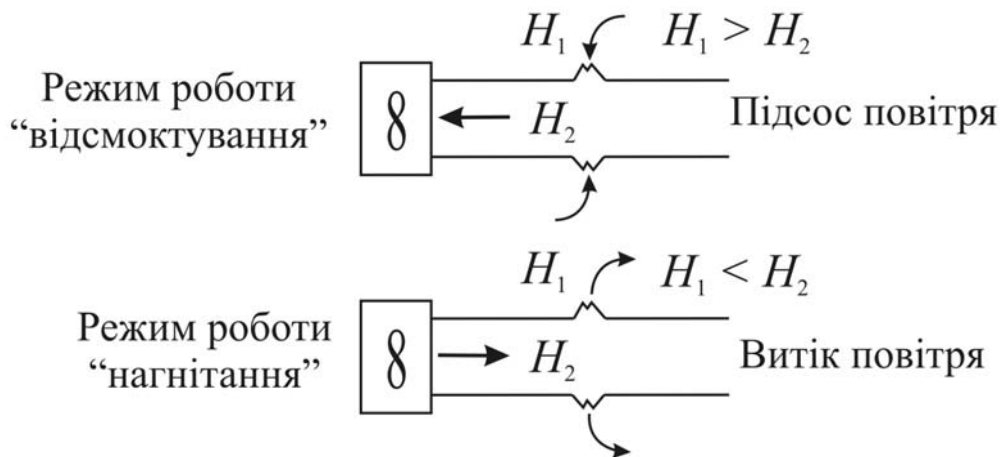
Значення ККД вентилятора  $\eta_1$  ( $\eta_2$ ) визначають за даними вимірів, використавши формулу

$$\eta_{1,2} = \frac{QH}{1000 P_c}, \quad (5.3)$$

де  $P_c$  – споживана потужність, що обчислена за формулою (5.2).

### 5.1.2. Зниження величини підсосів (витоків) повітря

Характеристика вентиляційної мережі визначається величиною підсосів (витоків) повітря і станом самої мережі. Пояснимо ці явища за допомогою рис. 5.1.



**Рис. 5.1. Схема режимів роботи вентилятора ( $H_2$  і  $H_1$  – відповідно тиск у вентиляційній мережі та за її межами)**

З метою підвищення економічності роботи вентиляторної установки необхідно:

- знижувати підсоси повітря через надшахтну будівлю (ретельно закладати щілини у стінах, удосконалювати роботу шлюзових і розвантажувальних пристроїв тощо);
- при клітьовому підйомі обладнати стовбури шахт спеціальними повітряними клапанами;
- зменшувати підсоси повітря у вентиляційних каналах (ретельно ущільнювати ляди, забезпечивши притиснення гуми до рами і надійне з'єднання останньої з бетоном каналів; обладнати оглядові колодязі та всі входи у канал подвійними щільними лядами, використавши прокладки з м'якої гуми).

Зниження величини витрати електроенергії від зменшення підсосів (витоків) повітря розраховують за виразом (кВт·год)

$$\Delta W = \frac{H(Q_1\eta_2 - Q_2\eta_1) t_e}{1000\eta_1\eta_2\eta_\delta\eta_m\eta_n}, \quad (5.4)$$

де  $Q_1, Q_2$  – відповідно продуктивність вентилятора до і після проведення заходів зі зменшення величини підсосів (витоків), м<sup>3</sup>/с (визначається за показаннями витратоміра);  $\eta_1, \eta_2$  – ККД вентилятора до і після впровадження відповідних заходів (визначаються за допомогою виразу (5.3)); значення ККД електродви-

гуна  $\eta_d$  при даному завантаженні, ККД електричної мережі  $\eta_m$  і передачі  $\eta_n$  змінюються незначно, тому в розрахунках приймаються постійними.

### 5.1.3. Покращення стану вентиляційної мережі

З метою покращення стану мережі (зменшення її аеродинамічного опору) необхідно збільшувати площу поперечного перерізу вентиляційних виробок, знижувати місцеві опори, прокладати додаткові повітроводи тощо.

Періодичні депресійні зйомки шахтних вентиляційних мереж надають повну картину розподілу загальношахтної депресії та дозволяють виявити місця різкого збільшення аеродинамічного опору гірничих виробок. На основі аналізу матеріалів депресійних зйомок розробляють заходи зі зниження депресії окремих виробок та усунення або зменшення місцевих опорів.

Очікуване зменшення депресії при проведенні заходів зі зниження місцевих опорів вентиляційної мережі дозволить знизити витрати електричної енергії на величину (кВт·год)

$$\Delta W = \frac{Q [H\eta_2 - (H - \Delta H)\eta_1] t_v}{1000\eta_1\eta_2\eta_d\eta_m\eta_n}, \quad (5.5)$$

де  $\eta_1, \eta_2$  – ККД вентилятора до і після зменшення величини депресії вентиляційної мережі;  $\Delta H = \Delta h_m + \Delta h_{mm}$  – очікуване зниження величини депресії вентиляційної мережі шахти, Па.

Величину депресії мережі  $h_m$  (Па) обчислюють так:

$$h_m = a_0 \frac{L \Pi}{S^3} Q_n^2, \quad (5.6)$$

де  $a_0$  – коефіцієнт аеродинамічного опору, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $L$  – протяжність мережі, м;  $\Pi$  – периметр повітроводу (гірничої виробки), м;  $S$  – переріз повітроводу (гірничої виробки), м<sup>2</sup>;  $Q_n$  – об'єм повітря, що подається у повітровід, м<sup>3</sup>/с.

Величину депресії, яка витрачається на подолання місцевих опорів, створених різкими поворотами, зменшенням перерізу повітроводу або гірничої виробки, можна визначити так (Па):

$$h_{mm} = 0,598 \xi v^2, \quad (5.7)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору;  $v$  – швидкість повітряного струменя, м/с.

Наприклад, для гірничих виробок вугільних шахт характерні такі коефіцієнти місцевого опору  $\xi$  [14]:

поворот струменя на 20°	0,1
те саме, при згладжуванні внутрішніх кутів	0,0084
поворот струменя на 40°	0,3

те саме, при згладжуванні внутрішніх кутів поворот струменя на 60°	0,025 0,55
те саме, при згладжуванні внутрішніх кутів поворот струменя на 90°	0,046 1,4
те саме, при згладжуванні внутрішніх кутів з'єднання виробок трійником	0,52 – 0,75 2,0
те саме, при скошених кутах звуження виробок під час переходу ствола, збійки у вентиляційний канал	1,0 0,6
те саме, при скошених стінах на 14–25° окремо стояча вагонетка	0,22 – 0,12 0,84 – 3,36

Очікуване зниження величини депресій вентиляційної мережі та місцевих опорів слід розглядати як різницю

$$\Delta h_m = h_{m1} - h_{m2}; \quad \Delta h_{mm} = h_{mm1} - h_{mm2}, \quad (5.8)$$

де  $h_{m1}$ ,  $h_{m2}$ ,  $h_{mm1}$ ,  $h_{mm2}$  – відповідно депресії мережі та місцевих опорів до та після вдосконалення вентиляційної мережі.

**Приклад 5.1.** У шахту за допомогою відцентрового вентилятора подається свіже повітря об'ємом  $Q = 20 \text{ м}^3/\text{с}$  при депресії  $H = 2160 \text{ Па}$ . Середня швидкість повітря  $v = 5 \text{ м/с}$ ;  $\eta_1 = 0,65$ ;  $\eta_2 = 0,63$ ;  $\eta_o = 0,85$ ;  $\eta_m = 0,95$ ;  $\eta_n = 0,95$ . Для зниження величини депресії вентиляційної мережі протягом року заплановано провести ряд заходів:

- розкріпити 500 м вентиляційного штреку зі збільшенням його перерізу (з  $S_1 = 4 \text{ м}^2$  до  $S_2 = 6 \text{ м}^2$ ) і периметра (з  $\Pi_1 = 8 \text{ м}$  до  $\Pi_2 = 10 \text{ м}$ ). Після реконструкції  $a_{01} = 0,0147$ , а  $a_{02} = 0,0069 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ ;
- прибрати зі штреку дві окремі вагонетки з інертним пилом ( $\xi = 2,5$ );
- біля повороту повітряного струменя на 90 град згладити внутрішній кут ( $\xi_1 = 1,4$ ,  $\xi_2 = 0,6$ ).

Визначити очікувану річну економію електричної енергії по шахті від реалізації вказаних заходів.

**Розв'язування.** Згідно з виразами (5.6) – (5.8) зниження величини загальноношахтної депресії при виконанні вказаних заходів:

$$\Delta h_m = h_{m1} - h_{m2} = \left( \frac{0,0147 \cdot 8}{4^3} - \frac{0,0069 \cdot 10}{6^3} \right) 500 \cdot 20^2 \approx 303,6 \text{ Па};$$

$$\Delta h_{mm} = h_{mm1} - h_{mm2} = 0,598 [2\xi + (\xi_1 - \xi_2)] v^2 = 0,598 [2 \cdot 2,5 + (1,4 - 0,6)] 5^2 \approx 86,7 \text{ Па}.$$

Сумарна величина зниження загальноношахтної депресії

$$\Delta H = \Delta h_m + \Delta h_{mm} = 303,6 + 86,7 = 390,3 \text{ Па}.$$

Очікувана річна економія електричної енергії (кВт·год) при  $t_g = 8760 \text{ год}$ :

$$\Delta W = \frac{20 \left[ 2160 \cdot 0,65 - (2160 - 390,3) \cdot 0,63 \right] 8760}{1000 \cdot 0,63 \cdot 0,65 \cdot 0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 166348,3.$$

#### 5.1.4. Узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою мережі

Для забезпечення економічної роботи вентиляційної установки у процесі її експлуатації необхідно, щоб характеристика мережі перетинала індивідуальну характеристику вентилятора у правій (стійкій) гілці як найближче до точки, що відповідає режиму роботи установки з максимальним ККД (точка  $H = 0,9H_{\max}$  на кривій 2 рис. 5.2). Відхилення від оптимального режиму (крива 1) призводить до зменшення ККД, причому втрати електроенергії на подолання опору в самому вентиляторі різко зростають.

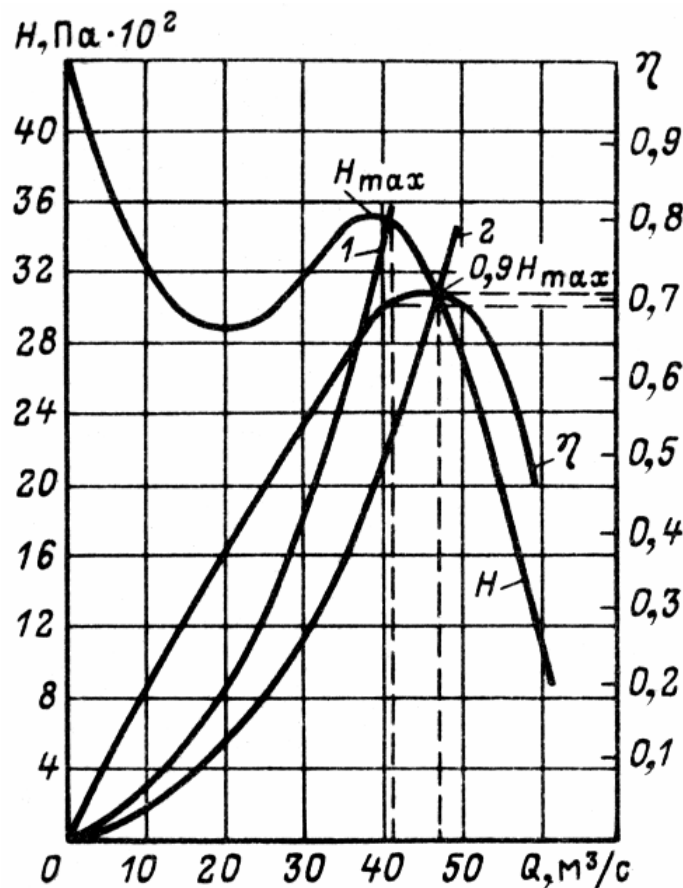


Рис. 5.2. Характеристики двоступеневого осьового вентилятора і вентиляційної мережі: 1 і 2 – криві, які визначають роботу вентилятора при  $\eta < \eta_{\max}$  і  $\eta = \eta_{\max}$

Способи узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою мережі можуть бути різними залежно від типу вентилятора, технологічної схеми установки, регульовальних властивостей електропривода, виду збуджувальних впливів тощо. До таких способів відносяться варіанти зміни параметрів вентиляційної мережі (наприклад, зменшення підсосів повітря, зниження загально-

шахтної депресії тощо) і, відповідно, місця розташування робочої точки на характеристиці вентилятора та значення його ККД (див. рис. 5.2).

Для узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою мережі проводять відповідні технічні заходи.

*Зміна кута установки лопаток на робочому колесі осьових вентиляторів.* Можливе зниження витрати електроенергії за рахунок удосконалення режиму роботи вентилятора визначають так (кВт·год):

$$\Delta W = \frac{(H_1 Q_1 \eta_2 - H_2 Q_2 \eta_1) t_g}{1000 \eta_1 \eta_2 \eta_d \eta_m}, \quad (5.9)$$

де  $Q_1, Q_2, H_1, H_2$  – відповідно подача ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) та тиск (Па) вентилятора до і після зміни режиму його роботи (можуть бути визначені за результатами вимірів і за суміщеними характеристиками вентилятора й вентиляційної мережі);  $\eta_1, \eta_2$  – ККД вентилятора до і після зміни режиму роботи.

Важливо знати, що перехід вентиляторів на новий режим роботи звичайно мало впливає на значення ККД вентилятора та його привідного двигуна, тому під час розрахунків їх зміною нехтують.

**Приклад 5.2.** Визначити очікуване річне зниження величини витрати електричної енергії, якщо режим роботи осьового вентилятора до і після зміни величини кута установки лопаток характеризується такими показниками:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 40 \text{ град}; & \theta_2 &= 30 \text{ град}; \\ Q_1 &= 60 \text{ м}^3/\text{с}; & Q_2 &= 55 \text{ м}^3/\text{с}; \\ H_1 &= 3500 \text{ Па}; & H_2 &= 3300 \text{ Па}; \\ \eta_1 &= 0,58; & \eta_2 &= 0,57; \\ \eta_d &= 0,85; & \eta_m &= 0,95; \\ t_g &= 8760 \text{ год.} \end{aligned}$$

Зниження величини подачі вентилятора на  $5 \text{ м}^3/\text{с}$  не позначилося на нормальному режимі провітрювання шахти.

**Розв'язування.** Згідно з рівнянням (5.9) очікувана річна величина економії електроенергії після удосконалення режиму роботи вентилятора (кВт·год)

$$\Delta W = \frac{(3500 \cdot 60 \cdot 0,57 - 3300 \cdot 55 \cdot 0,58) \cdot 8760}{1000 \cdot 0,58 \cdot 0,57 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 473505,5.$$

*Зняття та зміна величини кута установки лопаток двоступеневих осьових вентиляторів.* Для підвищення ККД незавантажених вентиляторів такого типу, працюючих на вентиляційну мережу з малою величиною депресії, доцільно повністю зняти лопатки з одного колеса, а на іншому збільшити величину кута їх установки так, щоб зберегти необхідну подачу і тиск, що створюються вентилятором.

Слід мати на увазі, що фактичний ККД двоступеневого вентилятора з одним робочим колесом звичайно дещо нижчий, ніж ККД одноступеневого вен-

тилятора через гірші аеродинамічні характеристики. Незважаючи на це, розглядаємо спосіб у деяких випадках дозволяє підвищити ККД установки і знизити величину енерговитрати.

**Приклад 5.3.** Для підвищення ККД вентиляційної установки зняті лопатки з одного колеса двоступеневого осьового вентилятора, а на іншому збільшений кут установки лопаток з 25 до 35 град, що забезпечує подачу повітря  $Q = 110 \text{ м}^3/\text{с}$  і тиск  $H = 1200 \text{ Па}$ . ККД вентилятора при цьому збільшився з  $\eta_1 = 0,65$  до  $\eta_2 = 0,725$ ,  $\eta_d = 0,9$ ,  $\eta_m = 0,95$ . Визначити очікуване річне зниження величини витрати електричної енергії.

**Розв'язування.** Очікуване річне зниження величини витрати електроенергії (кВт·год) згідно з виразом (5.1)

$$\Delta W = \frac{110 \cdot 1200 (0,725 - 0,65) \cdot 8760}{1000 \cdot 0,65 \cdot 0,725 \cdot 0,9 \cdot 0,95} = 215239,4.$$

Підвищити активне завантаження приводу вентилятора можливо за рахунок заміни встановленого електродвигуна на двигун з меншою частотою обертання або потужністю. На стадії розвитку гірничих робіт найбільший ефект можна досягти, якщо перейти на електродвигун меншої потужності та з меншою частотою обертання (за умови, що вентилятор забезпечує необхідні тиск і подачу – див. розд. 6).

Середньодобове фактичне завантаження двигуна вентилятора визначають за значеннями електрлічильника. Для цього за паспортними даними двигуна  $P_{ном}$  і  $\eta_{ном}$  обчислюють потужність, споживану з мережі при номінальному навантаженні:  $P_{с.ном} = P_{ном} / \eta_{ном}$ , потім за виразом (4.1) розраховують коефіцієнт завантаження  $K_3$ .

При  $K_3 \leq 0,4 - 0,5$  слід розглянути варіант заміни електродвигуна на двигун, потужність якого орієнтовно може бути визначена за формулою  $P_{op} = (QH)/(1000\eta)$ , де  $\eta$  – ККД вентилятора, визначений за суміщеними характеристиками вентилятора і вентиляційної мережі.

До установки приймається двигун потужністю  $P'_{ном} \geq P_{op}$  (при тій самій частоті обертання). Очікуване зниження величини витрати електроенергії (кВт·год) з урахуванням даної умови

$$\Delta W = \frac{QHt_g}{1000\eta_g\eta_m} \left( \frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right), \quad (5.10)$$

де  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  – відповідно фактичний ККД замінюваного і встановлюваного електродвигунів.

**Приклад 5.4.** Визначити доцільність заміни синхронного двигуна осьового вентилятора головного провітрювання на двигун меншої потужності з таки-



ми вихідними даними:  $P_{ном1} = 1600$  кВт;  $\eta_{ном1} = 0,9$ ;  $P_{ном2} = 1250$  кВт;  $\eta_{ном2} = 0,91$ ;  $Q = 170$  м<sup>3</sup>/с;  $H = 3700$  Па;  $t_g = 8760$  год;  $\eta_m = 0,95$ ;  $P_c = 800$  кВт.

**Розв'язування.** За допомогою виразу (5.1) фактичний коефіцієнт завантаження працюючого двигуна

$$K_{з1} = P_c / P_{с.ном1} = 800 / 1777,7 \approx 0,45,$$

де  $P_{с.ном1} = P_{ном1} / \eta_{ном1} = 1600 / 0,9 \approx 1777,7$  кВт.

За даними табл. 4.1 фактичний ККД двигуна при  $K_{з1} = 0,45$

$$\eta_1 = 0,9 \eta_{ном1} = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81.$$

Тоді коефіцієнт завантаження двигуна меншої потужності

$$K_{з2} = P_c / P_{с.ном2} = 800 / 1373,6 \approx 0,58,$$

де  $P_{с.ном2} = P_{ном2} / \eta_{ном2} = 1250 / 0,91 \approx 1373,6$  кВт.

Фактичний ККД двигуна при  $K_{з2} = 0,58$

$$\eta_2 = 0,96 \eta_{ном2} = 0,96 \cdot 0,91 = 0,87.$$

ККД вентилятора

$$\eta_g = (QH)/(1000P_c) = (170 \cdot 3700)/(1000 \cdot 800) \approx 0,79.$$

За виразом (5.10) очікуване річне зниження величини витрати електричної енергії після заміни електродвигуна (кВт·год)

$$\Delta W = \frac{170 \cdot 3700 \cdot 8760}{1000 \cdot 0,79 \cdot 0,95} \left( \frac{1}{0,81} - \frac{1}{0,87} \right) = 625102,2.$$

Як бачимо, отримано значний ефект. Проте для остаточного ухвалення рішення треба врахувати витрати, обумовлені заміною двигуна (див. п. 4.4).

При модернізації вентиляторів слід передбачати комплекс технічних заходів, спрямованих на підвищення економічного рівня роботи вентиляційної установки (заміна робочого колеса, підрізування або здовження лопаток, збільшення довжини дифузора тощо).

У разі реконструкції установки слід передбачати:

- заміну вентиляторів старих типів з низьким ККД новими, що мають більш високі техніко-економічні показники;
- застосування систем регульованого електропривода (наприклад, каскадних схем на базі НП), що забезпечують плавне і економічне регулювання частоти обертання вентилятора (отже, подачі і тиску) відповідно до регламентованих Правилами безпеки вимог провітрювання шахт, а також змінних параметрів вентиляційної мережі і самої установки (добові або сезонні зміни у необхідній кількості повітря, а також зміни, викликані різними темпами проведення підземних гірничих робіт). При застосуванні систем електропривода на базі НП немає необхідності у здійсненні "технологічних" заходів щодо регулювання продуктивності вентиляторів.

## 5.2. Підйомні установки

Це різновидність пасажирських та вантажних ліфтів, підйомних машин шахт і рудників, кранів тощо. Основними заходами зі зниження рівня електроспоживання є:

- робота приводу за оптимальною тахограмою, що повною мірою забезпечується при використанні НП;
- ліквідація чи скорочення часу роботи на холостому ході;
- забезпечення норм завантаження підйомних посудин;
- застосування вдосконалених систем електропривода на базі напівпровідникових перетворювачів.

*Робота за оптимальною тахограмою.* Режим роботи підйомної машини характеризується певними значеннями швидкості, прискорення, сповільнення і тривалості різних періодів циклу підйому. Для більшості установок режим керування істотно впливає на рівень електроспоживання.

Найвигіднішим за витратою електроенергії вважається режим керування підйомною машиною, коли ступінь неповноти використання тахограми (діаграми швидкості) має якнайменше можливе значення, а гальмівні зусилля не перевищують 20 – 30 % ваги корисного вантажу.

Ступінь неповноти використання тахограми або множник швидкості визначається як

$$\lambda_m = v_{\max} / v_{\text{сер}} = (v_{\max} T_u) / H_n, \quad (5.11)$$

де  $v_{\max}$ ,  $v_{\text{сер}}$  – відповідно максимальна і середня швидкості руху підйомної посудини, м/с;  $T_u$  – тривалість одного циклу підйому, с;  $H_n$  – висота підйому, м.

Зменшити множник швидкості можливо за рахунок змінення прискорення при пуску або сповільнення при зупинці.

*Зменшення часу роботи підйомної установки на холостому ході* призводить до зниження величини витрати електроенергії, яку можна підрахувати, керуючись положеннями, викладеними у розд. 4.

Крім того, слід урахувати *застосування систем регульованого електропривода* з НП, які набули значного поширення. При цьому треба розуміти усі недоліки і переваги таких систем, з якими докладніше можна ознайомитися у розд. 6.

У будь-якому разі необхідно *забезпечити регламентовані норми завантаження* підйомних посудин. Для цього слід контролювати процес завантаження підйомних посудин і вагонеток, підтримувати регламентовані норми завантаження клітей.

Неповне завантаження підйомних посудин і вагонеток при піднятті вантажу призводить до нераціональної витрати електроенергії установкою (кВт·год), яка визначається за виразом

$$\Delta W = W_u n_n, \quad (5.12)$$

де  $W_u = W_\partial / n_u$  – величина витрати електроенергії за один цикл підйому, кВт·год;  $W_\partial$  – добове споживання електроенергії підйомною установкою (за по-

казаннями лічильника активної енергії), кВт·год;  $n_u$  – фактична кількість циклів підйому за добу;  $n_n = n_u - n_{prac}$  – кількість циклів підйому з нераціональним завантаженням посудини, зроблених установкою за розрахунковий період (місяць, квартал, рік);  $n_{prac} = A_f / Q_n$  – кількість циклів, необхідних для підняття вантажу або гірничої маси за розрахунковий період за умови повного (раціонального) завантаження підйомної посудини;  $A_f$  – фактична кількість (маса) вантажу, піднятого установкою за розрахунковий період, т;  $Q_n$  – номінальна вантажопідіймальність підйомної посудини, т.

Скіпова вугільна підйомна установка може бути використана як ефективний споживач–регулятор для РРЕ, але для цього вона має бути обладнана системою регульованого електропривода на базі НП та спеціальними технологічними пристроями (див. розд. 7).

**Приклад 5.5.** У результаті модернізації скіпового підйому "традиційна" релейно-контакторна схема керування з використанням реостатів була замінена на сучасну систему регульованого асинхронного електропривода на базі НП. Завдяки цьому вдалося "ущільнити" тахограму підйому та скоротити тривалість циклу з  $t_{u1} = 158$  до  $t_{u2} = 145$  с. Як зміниться питома величина витрати електроенергії, якщо добова продуктивність підйомної установки  $Q_1 = 5800$  т вугілля при питомому електроспоживанні  $w_1 = 1,2$  кВт·год/т? Прийняти, що загальна витрата електроенергії та місткість скіпу не зміняться.

**Розв'язування.** Добова загальна величина витрати електроенергії на підняття вантажу

$$W = w_1 Q_1 = 1,2 \cdot 5800 = 6960,0 \text{ кВт·год.}$$

Добова продуктивність підйомної установки після зменшення тривалості циклу

$$Q_2 = Q_1 \frac{t_{u1}}{t_{u2}} = 5800 \frac{158}{145} = 6320,0 \text{ т.}$$

Питома витрата електроенергії після модернізації підйомної установки

$$w_2 = W / Q_2 = 6960,0 / 6320,0 \approx 1,1 \text{ кВт·год/т.}$$

Впровадження сучасної системи електропривода скіпового підйому на базі НП дозволить знизити питомі витрати електроенергії десь на 8 %.

### 5.3. Технологічний транспорт

#### 5.3.1. Загальні положення ефективного використання електроенергії

Основні електроприймачі технологічного транспорту на підприємствах – акумуляторні, контактні та безконтактні електровози, стрічкові, пластинчасті та скребкові конвеєри.

При використанні акумуляторних електровозів для зменшення втрат електроенергії у батареях необхідно:

- не допускати зниження густини електроліту нижче допустимого рівня (періодично додавати спеціальний концентрований розчин);
- регулярно очищати батарею від бруду, а також перевіряти стан з'єднувальних муфт, що значно знижує токи витоків і саморозряду;
- періодично замінювати електроліт і відновлювати якість батарей, які тривало не діють (за рахунок декількох перезаряджень), що дозволить уникнути зростання втрат електроенергії на 15 – 20 %;
- контролювати процес зарядження батареї (недозарядження батареї так само, як і перезарядження призводить до додаткових втрат електричної енергії);
- здійснювати регулярний і точний контроль за тривалістю роботи батарей, що дозволить вчасно усунути неполадки у батареях та необґрунтовані втрати електроенергії при їх зарядженні;
- впроваджувати сучасні зарядні та перетворювальні агрегати на силових напівпровідникових елементах.

*Зниження рівня втрат електроенергії при експлуатації контактних електровозів досягається за рахунок:*

- систематичної перевірки стану стикових контактів у місцях приєднання проводів, а також живильних і відсмоктувальних кабелів;
- зменшення опору рейкової колії, для чого на стиках приварюються планки, а через кожні 50 м усі "нитки" колії з'єднуються між собою перемичками;
- забезпечення практичної рівності величин провідності стику і рейки при застосуванні торцевого електрозварювання стиків;
- використання двосторонньої схеми живлення контактної мережі, що дозволяє зменшити втрати електроенергії у мережі приблизно у 7 – 8 разів;
- систематичного контролю стану контактної мережі та своєчасної заміни зношеного контактного проводу на провід первинного перерізу.

Зниження величини витрати електроенергії (кВт·год) при заміні контактного проводу на провід більшого перерізу розраховують так:

$$\Delta W = \frac{I^2 L}{57200} \left( \frac{S_1 - S_2}{S_1 S_2} \right) N t, \quad (5.13)$$

де  $I$  – тривалий струм навантаження одного електровоза, А;  $L$  – довжина замінюваного проводу, м;  $S_1, S_2$  – відповідно переріз нового і зношеного проводів, мм<sup>2</sup>;  $N$  – кількість електровозів, що одночасно працюють на ділянці електровозної відкатки;  $t$  – період часу, год.

**Приклад 5.6.** Визначити річне зниження величини витрати електроенергії від заміни зношеного контактного проводу на провід початкового перерізу, якщо:  $I = 34$  А;  $L = 2000$  м;  $S_1 = 105$  мм<sup>2</sup>;  $S_2 = 85$  мм<sup>2</sup>;  $N = 6$ ;  $t = 4500$  год.

**Розв'язування.** Згідно з формулою (5.13) зниження величини витрати електроенергії (кВт·год)

$$\Delta W = \frac{34^2 \cdot 2000}{57200} \left( \frac{105 - 85}{105 \cdot 85} \right) 6 \cdot 4500 = 2445,5.$$

Варто знати, що безконтактні електровози з індуктивною передачею енергії дозволяють знизити витрати електроенергії у 1,5 – 2 рази порівняно з акумуляторними, однак, на жаль, вони не набули широкого застосування у гірничовидобувній галузі.

Додатково знизити величину витрати електроенергії на електровозному транспорті дозволяють організаційно-технічні заходи:

- дотримання графіків руху потягів і виконання маневрових робіт окремо для кожної ділянки з урахуванням їх особливостей;
- оптимізація схеми шляхів і розміщення устаткування з метою зменшення маневрових робіт у вантажних пунктах;
- щозмінний профілактичний огляд електровозів і усунення виявлених несправностей.

Істотне зниження рівня електроспоживання конвеєрним транспортом можна досягти за рахунок ліквідації холостого ходу і підвищення завантаження конвеєрів, для чого необхідно контролювати стан бункерів, усереднюючих ємностей і завантажувальних пристроїв, а також справність перевантажувальних пунктів.

Бункери об'ємом 100 м<sup>3</sup> і більше необхідно обладнати датчиками нижнього і верхнього рівня, зблокованими зі схемою автоматизації конвеєра для його вимикання за відсутності гірської породи у бункерах і вмикання при їх заповненні.

Технологічна витрата електроенергії за добу стрічковим конвеєром (кВт·год) залежить від кількості транспортуємого вантажу, а також умов і тривалості його роботи [14]:

$$W_{кл} = 0,013 L_k \omega \left[ C_c v_c t_p + 0,28 Q_p \left( 1 \pm \frac{\sin \beta}{\omega} \right) \right], \quad (5.14)$$

де  $L_k$  – довжина конвеєра, м;  $\omega$  – коефіцієнт опору руху, який дорівнює 0,02 – 0,03 для стаціонарних конвеєрів, 0,04 – 0,06 – встановлених у межах виїмкових ділянок, 0,08 – 0,12 – працюючих у особливо важких умовах;  $C_c$  – маса 1 м рухомих частин конвеєра (довідкова інформація), кг/м;  $v_c$  – швидкість руху стрічки, м/с;  $t_p$  – час роботи конвеєра за розрахунковий період, год;  $Q_p$  – розрахункова продуктивність (маса транспортованого вантажу) конвеєра за час  $t_p$ , т;  $\beta$  – кут установки конвеєра, град.

Для збиральних конвеєрів, що приймають вантаж на декількох пунктах, розташованих за всією довжиною конвеєра,

$$Q_p = \frac{L_1}{L_k} Q_{з1} + \frac{L_2}{L_k} Q_{з2} + \dots + \frac{L_n}{L_k} Q_{зн},$$

де  $L_1, L_2, \dots, L_n$  – відстань від  $i$ -го пункту завантаження до пункту розвантаження, м;  $Q_{31}, Q_{32}, \dots, Q_{3n}$  – запланована маса вантажу, що видається  $i$ -м вантажним пунктом за розрахунковий період, т.

**Приклад 5.7.** На ухилі шахти встановлено конвеєр 1ЛУ120, час роботи якого вхолосту вдалося скоротити на 3 години на добу ( $\Delta t_{xx} = 3$  години) за рахунок використання завантажувального бункера для вирівнювання вантажопотоку. Визначити річне зниження величини витрати електроенергії від упровадження вказаного заходу, якщо відомо, що  $L_k = 800$  м;  $\omega = 0,03$ ;  $C_c = 119,7$  кг/м;  $Q_p = 0$  (при вимиканні конвеєра);  $v_c = 2,5$  м/с; число робочих днів на рік  $n_d = 305$  діб.

**Розв'язування.** За виразом (5.14) отримаємо добове зниження величини витрати електроенергії за рахунок скорочення часу холостого ходу:

$$\Delta W_{к.хх} = 0,013 L_k \omega C_c v_c \Delta t_{xx} = 0,013 \cdot 800 \cdot 0,03 \cdot 119,7 \cdot 2,5 \cdot 3 = 280,1 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Тоді річне зниження рівня електроспоживання

$$\Delta W_{кл} = \Delta W_{к.хх} n_d = 280,1 \cdot 305 = 85430,5 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Технологічна витрата електроенергії за добу скребковим конвеєром (кВт·год) залежно від маси транспортуємого вантажу, умов і тривалості його роботи

$$W_{кс} = L_z \left[ C_l v_l t_p + 0,34 Q_p (1 \pm 2 \operatorname{tg} \beta) \right] \cdot 10^{-2}, \quad (5.15)$$

де  $L_z = L_k \cos \beta$  – горизонтальна довжина конвеєра;  $C_l$  і  $v_l$  – відповідно маса 1 м рухомого ланцюга (кг/м) та швидкість його руху (м/с). Величини  $C_l$  і  $v_l$  для різних типів конвеєрів наведені в роботі [14].

**Приклад 5.8.** Визначити річне зниження рівня електроспоживання при скороченні часу роботи вхолосту скребкового конвеєра СП63М на 2 години ( $\Delta t_{xx} = 2$  години) та таких даних:  $C_l = 38,6$  кг/м;  $v_l = 1,12$  м/с;  $\beta = 0$ ;  $L_k = 200$  м;  $n_d = 305$  діб.

**Розв'язування.** За виразом (5.15) визначимо добове зниження величини витрати електроенергії за рахунок скорочення часу холостого ходу:

$$\Delta W_{к.хх} = L_k C_l v_l \Delta t_{xx} \cdot 10^{-2} = 200 \cdot 38,6 \cdot 1,12 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 172,9 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Тоді річне зниження рівня електроспоживання (без урахування витрат енергії на пуск конвеєра)

$$\Delta W_{кс} = \Delta W_{к.хх} n_d = 172,9 \cdot 305 = 52734,5 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

У тих випадках, коли за гірничотехнічних умов можлива експлуатація стрічкових конвеєрів замість скребкових, то величина витрати електроенергії на транспортування зменшується, тобто

$$W = L_k \left\{ (C_{л} v_{л} \cos \beta - 1,3 C_c v_c \omega) t_p + \right. \\ \left. + Q_p [0,34(\cos \beta \pm 2 \sin \beta) - 0,364(\omega \pm \sin \beta)] \right\} 10^{-2}.$$

Зменшити величину витрати електроенергії на конвеєрному транспорті у значних обсягах можливо за рахунок застосування сучасних систем електропривода на базі НП частоти (див. п. 5.3.2).

### 5.3.2. Прогресивний напрям зниження рівня електроспоживання за рахунок удосконалення системи електропривода

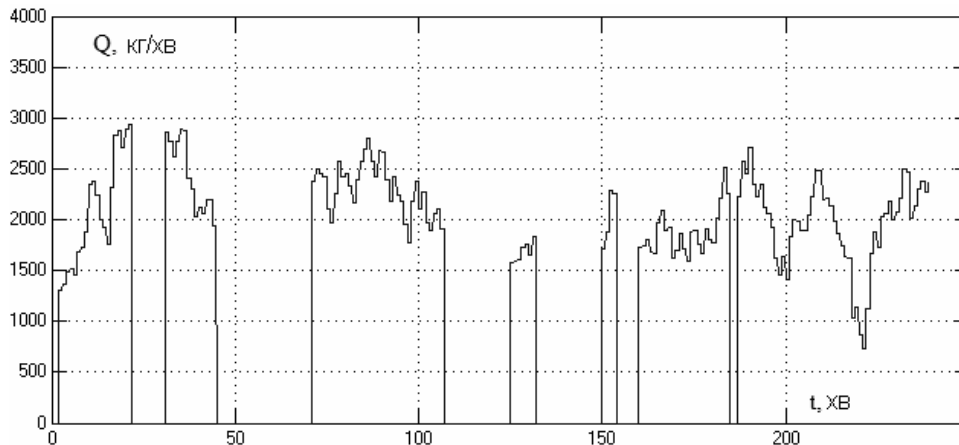
Як відомо, існує два основних напрями підвищення рівня ефективності використання асинхронного регульованого електропривода. Перший напрям пов'язаний із зниженням рівня втрат енергії в електроприводі при виконанні ним заданих технологічних операцій за певними тахограмами. Це електроприводи, що працюють у пускогальмівних режимах (шахтні підйоми, крани, тельфери тощо) або у тривалих режимах з повільно змінним навантаженням (насоси, вентилятори, компресори). У таких електроприводах за рахунок зниження рівня втрат у сталих і перехідних режимах можлива значна економія електроенергії. У кінематично пов'язаних електроприводах (магістральні конвеєри та інші механізми з багатодвигунними приводами) рівномірний розподіл навантажень між двигунами дозволяє також мінімізувати втрати в них.

Другий напрям пов'язаний зі зміною технологічного процесу на основі переходу до більш удосконалених способів регулювання електропривода і параметрів технологічного процесу. При цьому відбувається зниження рівня споживання енергії електроприводом (наприклад, шахтні вентилятори, конвеєрні, підйомні установки тощо). Слід відзначити особливість роботи приводу шахтних водовідливних установок, які за вимогами технологічного процесу не дозволяють безпосередньо впровадити нові рішення, розроблені для систем загальнопромислового водопостачання. Для них окремо обґрунтовуються раціональні області застосування частотно-регульованого електропривода і режимів його роботи.

Для обох напрямів характерним є зниження рівня споживання енергії саме електроприводом: у першому – за рахунок зменшення в ньому величини втрат енергії, у другому – за рахунок застосування менш енерговитратного керування технологічним процесом.

Для вирішення цієї задачі в розд. 4 у загальному вигляді розглянуті коефіцієнти завантаження робочої машини  $K_z$  та її використання за часом  $K_t$ . Використовуючи співвідношення (4.1), (4.2), (4.4) та залежність коефіцієнта збільшення питомих витрат електроенергії  $K_w$  від коефіцієнта  $K_z$ , розв'язана задача 4.1 щодо визначення очікуваного зниження величини витрати електроенергії. У цьому підрозділі розглянуто можливість зменшення рівня електроспоживання за рахунок застосування НП частоти на прикладі магістрального конвеєра вугільної шахти. Такий пристрій змінює частоту змінного струму, що відповідно

змінює швидкість обертання вала двигуна і швидкість руху стрічки конвеєра. Застосування цього засобу є дуже важливим, оскільки вантажопотік не завжди буває максимальним та рівномірним (див. графіки навантаження, що розглянуті в п. 4.2). Для прикладу на рис. 5.3 наведений фактичний графік вантажопотоку з очисного вибою шахти.



**Рис. 5.3. Фактичний графік вантажопотоку з очисного вибою вугільної шахти**

Аналіз тягових характеристик конвеєра при різному співвідношенні вантажопотоку і швидкості стрічки виявив, що електроенергію, споживану конвеєром, можна поділити на дві складові – енергію холостого ходу конвеєра  $W_{xx}$ , що витрачається на подолання опору руху його стрічки, і енергію, необхідну для переміщення вантажу  $W_e$ :

$$W_k = W_{xx} + W_e. \quad (5.16)$$

При цьому електроенергія, що витрачається на переміщення вантажу, пропорційна відстані транспортування  $L$ , а електроенергія холостого ходу конвеєра пропорційна швидкості руху його стрічки  $v$ . Такий висновок можна зробити з визначення енергії  $W_{xx}$  як добутку зусилля, швидкості та часу [15, 16]:

$$W_{xx} = F_{xx} v t, \quad (5.17)$$

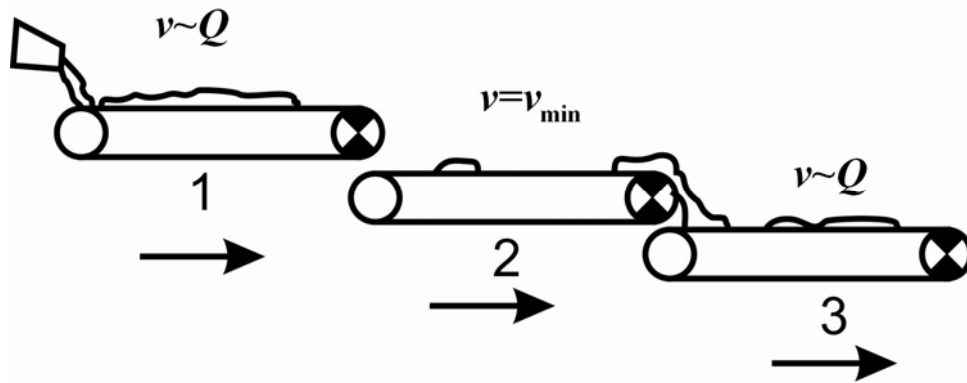
$$W_e = F_e L. \quad (5.18)$$

У виразі (5.17) значення зусилля  $F_{xx}$  (Н) незмінне і залежить від технічних параметрів конкретного конвеєра, а змінюючи швидкість руху  $v$ , можна впливати на величину  $W_{xx}$ , бо час роботи конвеєра  $t$  залежить від технології процесу транспортування. У виразі (5.18) величина  $W_e$  залишається постійною при одному і тому об'ємі (масі) транспортованого вугілля: при зменшенні швидкості транспортування пропорційно збільшується час, необхідний для переміщення цього вантажу на певну відстань, тобто рівень електроспоживання залежить лише від відстані транспортування  $L$  та затратних зусиль  $F_e$ .



Тому підвищення рівня ефективності роботи конвеєрів можливо за рахунок зниження частки спожитої енергії при холостому ході в загальному споживанні конвеєром, а це можливо при роботі конвеєра на швидкостях, що знижуються відповідно до його завантаження. Далі розглянемо це явище детальніше

Пропорційний закон регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки є найбільш простим та ефективним для зменшення величини витрати електричної енергії: швидкість конвеєра регулюється пропорційно вхідному вантажопотоку, тобто  $v \sim Q$ . При цьому конвеєр працює на швидкостях, нижчих за номінальну (рис. 5.4).



**Рис. 5.4.** Загальна схема регулювання швидкості конвеєрів транспортного ланцюга пропорційно вхідному вантажопотоку

Зменшення величини витрати електроенергії при використанні регульованого приводу та пропорційного закону регулювання згідно з роботою [17]

$$\Delta W = W_{xx} \left( 1 - \frac{Q}{Q_{\max}} \right), \quad (5.19)$$

де  $W_{xx}$  – енергія холостого ходу, що витрачається конвеєром на переміщення його рухомих частин, кВт·год;  $Q$  – обсяг (маса) вугілля, яке було транспортовано конвеєром за час роботи, т;  $Q_{\max}$  – максимальний обсяг (маса) вугілля, що може транспортувати конвеєр за той самий час з номінальною швидкістю руху стрічки, т.

За формулою (5.19) можна визначити зменшення величини витрати електроенергії конвеєром з регульованим приводом, якщо вважати, що його стрічка зупиняється у разі відсутності вхідного вантажопотоку. На практиці ж швидкість руху стрічки зменшується до певної величини, як правило до 1/10 від номінальної, що зумовлено різким збільшенням активних втрат у двигуні при більшому зменшенні швидкості. Конвеєр не зупиняється повністю, тому що транспортний ланцюг завжди має бути готовим до прийняття вантажу. Тоді зменшення величини витрати електроенергії має визначатися з урахуванням руху конвеєрної стрічки на мінімальній швидкості за час відсутності вхідного вантажопотоку. Для цього треба знати частку  $(1 - K_t)$  роботи конвеєра на мінімальній швидкості  $v_{\min}$  та частку часу  $K_t$  швидкості, що відповідає середньому значенню вантажопотоку  $v_{\text{сеп}}$ , де  $K_t$  – коефіцієнт часу надходження вугілля, що

являє собою його математичне сподівання. Тут  $K_t$  відповідає раніше визначеному (див. п. 4.2) коефіцієнту використання робочої машини за часом.

Проаналізуємо час роботи конвеєра з мінімальною швидкістю та швидкістю, що відповідає середньому вантажопотоку для двох послідовно встановлених конвеєрів з регульованою швидкістю стрічки. При такому варіанті на другому конвеєрі матимемо додаткове зменшення величини витрати електроенергії. Для частки повного часу роботи першого конвеєра  $K_{t1}$  встановлюється швидкість руху другого, що відповідає надходженню середнього вантажопотоку  $v_{сер}$ , а для частки часу  $(1 - K_{t1})$  – швидкість  $v_{min} = K_{шв} v_{ном}$ , де  $v_{ном}$  – номінальна швидкість руху конвеєрної стрічки;  $K_{шв}$  – коефіцієнт швидкості або діапазон регулювання, тобто відношення мінімально можливої швидкості руху конвеєрної стрічки до номінальної:  $K_{шв} = v_{min} / v_{ном}$ . Тоді матимемо режими роботи, коли:

- на вході та виході першого конвеєра є вантажопотік, тобто стрічка другого конвеєра рухається відповідно зі швидкістю стрічки першого (зі швидкістю, що відповідає середньому вантажопотоку);

- на вході першого конвеєра відсутній вантажопотік, а на виході присутній, тобто другий конвеєр рухається з мінімальною швидкістю, що встановлюється за пропорційним законом регулювання (вугілля транспортується повільно);

- на вході та виході першого конвеєра вантажопотік відсутній, тобто другий конвеєр рухається з мінімальною швидкістю;

- на вході першого конвеєра є вантажопотік, а на виході немає, тобто другий конвеєр рухається з мінімальною швидкістю.

З цього простого аналізу видно, що система керування швидкістю стрічки другого конвеєра у трьох з чотирьох перелічених випадків встановлює мінімальну швидкість, на відміну від першого конвеєра, швидкість руху стрічки якого буде мінімальною лише у двох із чотирьох випадків.

При пропорційному законі регулювання швидкості стрічки на послідовно встановлених конвеєрах для другого конвеєра матимемо додаткове зменшення величини витрати електроенергії, що визначається за таким алгоритмом. Знаходимо коефіцієнт машинного часу другого конвеєра через  $K_{t1}$  першого:

$$K_{t2} = K_{t1} \frac{K_{t1}}{K_{t1} + (1 - K_{t1}) K_{шв}}. \quad (5.20)$$

Таке співвідношення отримане з урахуванням вантажопотоку, що надходить з першого конвеєра з регульованою швидкістю. Далі визначаємо частку часу роботи другого конвеєра на мінімальній швидкості та швидкості, що відповідає середньому вантажопотоку (відповідно  $(1 - K_{t2})$  та  $K_{t2}$ ).

Залежність (5.20) демонструє збільшення часу роботи другого конвеєра на мінімальній швидкості при регульованому електроприводі (з пропорційним законом регулювання залежно від вхідного вантажопотоку для обох), що призводить до додаткового зменшення величини витрати електроенергії.

Зниження рівня електроспоживання для першого та другого у транспортному ланцюзі конвеєрів визначається з урахуванням їх середнього вантажопотоку  $Q_{сер}$  та номінальної продуктивності  $Q_{ном}$ :

$$\Delta W_1 = W_{xx1} \left( 1 - (1 - K_{t1}) K_{ув} - K_{t1} Q_{сер} / Q_{ном} \right); \quad (5.21)$$

$$\Delta W_2 = W_{xx2} \left( 1 - (1 - K_{t2}) K_{ув} - K_{t2} Q_{сер} / Q_{ном} \right). \quad (5.22)$$

За наведеними співвідношеннями можна розрахувати зменшення величини витрати електроенергії шахтними магістральними конвеєрами при встановленні регульованого приводу, що змінює швидкість руху стрічки пропорційно вхідному вантажопотоку. Отримані залежності також можна використовувати для двох послідовно встановлених конвеєрів при регулюванні швидкості руху стрічки на кожному з них.

**Приклад 5.9.** Визначити добові значення витрати електроенергії на транспортування вантажу та на переміщення рухомих частин конвеєра за такими вихідними даними: тип – 1Л100У,  $L_k = 1000$  м;  $\omega = 0,06$ ;  $C_c = 66,7$  кг/м;  $Q_p = 3834$  т,  $v_c = 1$  м/с,  $\beta = 0$ ,  $t_p = 18$  год.

**Розв'язування.** Проаналізуємо залежність (5.14) для розрахунку величини витрати електроенергії стрічковим конвеєром за добу. Перший доданок у квадратних дужках не залежить від вантажопотоку – витрата енергії на переміщення рухомих частин конвеєра  $W_{xx}$ , другий не залежить від часу роботи – витрата енергії на переміщення вантажу  $W_6$ .

Підставивши відповідні вихідні дані у вираз (5.14), отримаємо (кВт·год):

$$W_{xx} = 0,013 L_k \omega C_c v_c t_p = 0,013 \cdot 1000 \cdot 0,06 \cdot 66,7 \cdot 1 \cdot 18 = 936,5 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_6 = 0,013 L_k \omega \cdot 0,28 Q_p \left( 1 \pm \frac{\sin \beta}{\omega} \right) = 0,013 \cdot 1000 \cdot 0,06 \cdot 0,28 \cdot 3834 = 837,3 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\Sigma} = W_{xx} + W_6 = 936,5 + 837,3 = 1773,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Як бачимо, добові витрати електроенергії на роботу конвеєра при холостому ході перевищують величину відповідної витрати енергії на транспортування вугілля.

**Приклад 5.10.** Визначити добове зменшення величини витрати електроенергії, що матиме місце при встановленні частотного регульованого приводу на шахтний стрічковий конвеєр з параметрами, наведеними у прикладі 5.8. Врахувати, що максимальна маса вугілля, яку конвеєр може транспортувати за той самий час роботи на номінальній швидкості,  $Q_{max} = 10080$  т. За відсутності вантажопотоку конвеєр зупиняється.

**Розв'язування.** Зменшення величини витрати електроенергії згідно з виразом (5.19)

$$\Delta W = 936,5 \left( 1 - \frac{3834}{10080} \right) = 580,3 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Впровадження частотного регульованого приводу дозволить знизити добове електроспоживання конвеєром на величину 580,3 кВт·год.

**Приклад 5.11.** Порівняти величини річного зниження витрат електроенергії від упровадження перетворювачів частоти для двох однакових конвеєрів, на які надходить вугілля з двох різних лав, з такими значеннями середньо годинного вантажопотоку та коефіцієнта часу:  $Q_{сер1} = 70$  т/год;  $K_{t1} = 0,5$ ;  $Q_{сер2} = 120$  т/год;  $K_{t2} = 0,55$ .

Параметри конвеєрів: споживана потужність при роботі в режимі холостого ходу  $P_{xx} = 52$  кВт, продуктивність  $Q_{ном} = 270$  т/год, номінальна швидкість  $v = 1$  м/с, довжина  $L_k = 800$  м, за відсутності вантажопотоку швидкість знижується до  $K_{ув} = 1/10$  від номінальної, кількість робочих днів на рік  $n_d = 320$ , кількість робочих годин на добу  $n_{зод} = 18$ .

**Розв'язування.** Визначимо річну величину витрати електроенергії на переміщення рухомих частин самого конвеєра:

$$W_{xx} = n_{зод} n_d P_{xx} = 18 \cdot 320 \cdot 52 = 299520,0 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Тоді зменшення величини витрати електроенергії для першого конвеєра згідно з виразом (5.21)

$$\begin{aligned} \Delta W_1 &= W_{xx} \left( 1 - (1 - K_{t1}) K_{ув} - K_{t1} \frac{Q_{сер1}}{Q_{ном}} \right) = 299520 \left( 1 - (1 - 0,5) \cdot \frac{1}{10} - 0,5 \cdot \frac{70}{270} \right) = \\ &= 245717,3 \text{ кВт}\cdot\text{год,} \end{aligned}$$

а для другого конвеєру згідно з виразом (5.22)

$$\Delta W_2 = 299520 \left( 1 - (1 - 0,55) \cdot \frac{1}{10} - 0,55 \cdot \frac{120}{270} \right) = 212825,6 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Робимо висновок, що зі зменшенням фактичного вантажопотоку ефект від упровадження частотного регульованого приводу збільшується.

**Приклад 5.12.** Порівняти величини річного зниження витрат електроенергії від упровадження перетворювачів частоти на двох однакових магістральних конвеєрах, що встановлені послідовно і отримують вугілля з лави, з такими характеристиками:  $Q_{сер} = 150$  т/год,  $K_{t1} = 0,5$ . Параметри конвеєрів та інші необхідні величини взяти з попереднього прикладу.

**Розв'язування.** Для другого конвеєра збільшується час роботи на зниженій швидкості, тобто зменшується  $K_{t2}$ , який визначимо за формулою (5.20):

$$K_{t2} = K_{t1} \frac{K_{t1}}{K_{t1} + (1 - K_{t1}) K_{ув}} = 0,5 \cdot \frac{0,5}{0,5 + (1 - 0,5) \cdot 0,1} = 0,45.$$

Тоді зменшення величини витрати електроенергії для першого конвеєра згідно з виразом (5.21)

$$\Delta W_1 = W_{xx} \left( 1 - (1 - K_{t1}) K_{шв} - K_{t1} \frac{Q_{сер}}{Q_{ном}} \right) = 299520 \left( 1 - (1 - 0,5) \cdot \frac{1}{10} - 0,5 \cdot \frac{150}{270} \right) =$$

$$= 201344,0 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

а для другого згідно з виразом (5.22)

$$\Delta W_2 = 299520 \left( 1 - (1 - 0,45) \cdot \frac{1}{10} - 0,45 \cdot \frac{150}{270} \right) = 208166,4 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Порівнюючи отримані результати, можна зробити такий висновок: найбільший ефект від упровадження регулювання швидкості руху стрічки спостерігається для останнього від джерела вантажопотоку конвеєра.

**Приклад 5.13.** Довести доцільність застосування перетворювача частоти до магістрального шахтного конвеєра (розрахувати простий термін окупності), якщо відомо, що вартість перетворювача  $K = 800$  тис. грн, заміна привідних двигунів не потрібна, вартість 1 кВт·год електроенергії  $C_{0w} = 0,9$  грн. Параметри конвеєра такі: електроенергія, що витрачається конвеєром на переміщення рухомих частин,  $W_{xx} = 512$  кВт·год, маса вугілля, яка перевезена за зміну,  $Q = 1216$  т, максимальна продуктивність конвеєра на номінальній швидкості за той самий час  $Q_{max} = 3044$  т, кількість робочих змін на добу  $n_{зм} = 3$ , днів у році  $n_d = 320$ . Враховувати, що конвеєр за відсутності вантажопотоку зупиняється.

**Розв'язування.** Зменшення величини витрати електроенергії за зміну згідно з виразом (5.19)

$$\Delta W = W_{xx} \left( 1 - \frac{Q}{Q_{max}} \right) = 512 \left( 1 - \frac{1216}{3044} \right) = 307,5 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річне зниження рівня електроспоживання конвеєром

$$\Delta W_p = \Delta W n_{зм} n_d = 307,5 \cdot 3 \cdot 320 = 295200,0 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Грошова вартість за рахунок зменшення величини витрати електроенергії

$$E = \Delta W_p C_{0w} = 295200 \cdot 0,9 = 265680 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності проекту від упровадження перетворювача

$$t = \frac{K}{E} = \frac{800000}{265680} \approx 3 \text{ роки.}$$

Термін окупності від упровадження частотного регульованого приводу конвеєра досить не великий для гірничовидобувної промисловості, а тому проект вважаємо економічно доцільним.

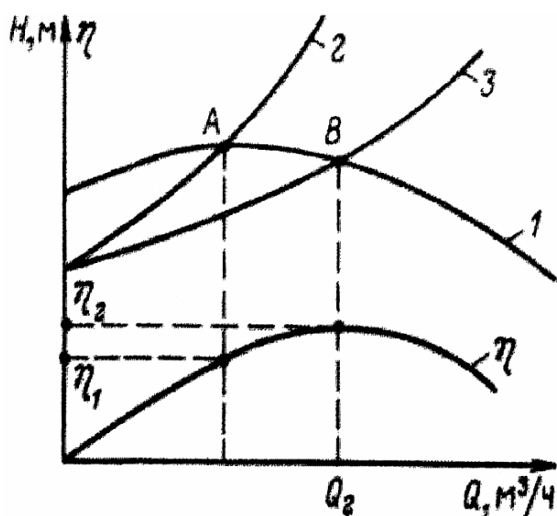
## 5.4. Насосні установки

### 5.4.1. Загальні положення та рішення

Одні з найпоширеніших технологічних установок – електричні насоси, які призначені для перекачування і транспортування різного роду рідин. Протіка-

ють рідини звичайно по трубопроводах, що утворюють трубопровідну мережу, на яку і працюють насоси. Енергія, головним чином, витрачається на подолання геодезичної висоти і опору трубопровідної мережі.

Електроенергія насосною установкою буде раціонально використовуватися тоді, коли паспортні параметри насоса відповідають характеристиці мережі. Для виконання цієї умови необхідно, щоб при виборі типу і подачі насосів при роботі на заданий трубопровід точка перетину індивідуальної характеристики насоса і характеристики трубопроводу знаходилася у зоні максимального ККД (рис. 5.5).



**Рис. 5.5.** Суміщені характеристики насоса (1) і трубопроводу з більшим (2) та меншим (3) опором: А, В – робочі точки, в яких насос працює з подачею  $Q_1$  і  $Q_2$  та відповідні їй ККД  $\eta_1$  і  $\eta_2$

Змістити точку А (точку перетину характеристик 1 і 2) у точку В можна, змінивши параметри трубопроводу (зменшивши його опір). При роботі насоса із підвищеним напором частина його "гаситься" у трубопроводі та марно витрачається при скиданні води на значну висоту. У цьому разі необхідно зняти частину проміжних секцій (якщо насос секційний) або встановити насос, розрахований на менший гідравлічний напір. Ці заходи дозволять змістити робочу точку насоса у зону максимального ККД (рис. 5.5), що забезпечить його роботу з меншими питомими електровитратами.

Втрати напору в трубопроводі істотно впливають на енергетичні показники водовідливної установки. Найефективніший спосіб зменшення цих втрат – збільшення перерізу труб по всій довжині або на окремих ділянках.

Втрата напору в трубопроводі, м:

- на прямій його частині

$$h = \frac{0,083 \lambda_{mp} L Q^2}{d^5}; \quad (5.23)$$

- для місцевих опорів

$$h = \frac{0,083 \xi Q^2}{d^4}, \quad (5.24)$$

де  $\lambda_{mp}$  – коефіцієнт тертя води об стіни труб (для шахтної води  $\lambda_{mp} = 0,03$ );  $L$  – довжина трубопроводу або його ділянки, м;  $Q$  – об'єм води, яка протікає у трубопроводі, м<sup>3</sup>/с;  $d$  – діаметр трубопроводу, м;  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору (може прийматися для засувки – 0,5; закругленого на 90 град коліна – 0,3; зворотного клапана – 5,0).

При реконструкції трубопровідної мережі втрати напору (м) на кожній ділянці трубопроводу визначаються за формулами (5.23) або (5.24), а їх різниця так:

$$\Delta h = h_1 - h_2,$$

де  $h_1, h_2$  – відповідно втрати напору на ділянці трубопроводу до і після його реконструкції, м.

Тоді сумарна величина зниження втрати напору, м:

$$\Delta h_{\Sigma} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n, \quad (5.25)$$

де  $\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_n$  – величини зниження втрат напору на окремих ділянках трубопроводу, м.

Зниження втрат напору в трубопроводі викликає зміщення робочої точки установки з відповідним змінням її ККД (див. рис. 5.5).

Очікуване зниження рівня електроспоживання насосною установкою (кВт·год) від зменшення опору трубопровідної мережі

$$\Delta W = \frac{0,00286(Q_1 H_1 \eta_2 - Q_2 H_2 \eta_1) t_n}{\eta_1 \eta_2 \eta_{\delta} \eta_m}, \quad (5.26)$$

де  $Q_1, Q_2, H_1, H_2$  – відповідно подача за показаннями витратоміра (м<sup>3</sup>/год) і повний напір насосної установки за показаннями манометра (м) до і після зміни опору трубопровідної мережі;  $\eta_1, \eta_2$  – ККД насосної установки відповідно до і після зміни опору трубопровідної мережі (визначаються положенням робочої точки насоса (А або В) при відомих  $Q_1, Q_2$  і  $H_1, H_2$  (див. рис. 5.5));  $\eta_{\delta}$  і  $\eta_m$  – ККД відповідно двигуна і електричної мережі (змінюються незначно, тому в розрахунках приймають, що  $\eta_{\delta} = \eta_{\delta,ном}$  – номінальному значенню ККД двигуна, а  $\eta_m = 0,95 \dots 0,97$ );  $t_n$  – час роботи насосів за розрахунковий період, год.

Величину  $H_2$  знаходять як різницю  $H_1 - \Delta h$ .

Окрім заходів зі зниження опору трубопровідної мережі для зменшення напору в трубопроводі:

- застосовують резервний нагнітальний трубопровід при зменшенні величини подачі насоса проти номінальної більш ніж на 20 %. При цьому опір трубопроводу зменшується і зниження рівня електроспоживання може скласти 7 – 10 % від базового;
- звільняють мережу від зайвої (необов'язкової) запірної арматури і поворотів у трубопроводі або згладжують його гострі кути;
- скорочують довжину трубопроводу шляхом зміни його конфігурації;
- регулярно (не менше раз на рік) очищають трубопровід від осаду, що накопичився.

Заміна старих типів насосів на нові з більш високим ККД або модернізація діючих забезпечить зниження рівня споживання електроенергії (кВт·год), яке можна розрахувати так:

$$\Delta W = \frac{0,00286(\eta_2 - \eta_1) QHt_n}{\eta_1\eta_2\eta_d\eta_m}, \quad (5.27)$$

де  $H$  – напір за показаннями манометра, м;  $Q$  – фактична подача насоса, м<sup>3</sup>/год;  $\eta_1, \eta_2$  – ККД відповідно старого і нового насосів.

**Приклад 5.14.** Визначити очікуване річне зниження рівня електроспоживання водовідливною установкою від заміни насоса типу "Комсомолец" з  $\eta_1 = 0,62$  на насос типу МС-150 з  $\eta_2 = 0,73$  при таких вихідних даних:  $Q = 150$  м<sup>3</sup>/год;  $H = 300$  м;  $t_n = 3000$  год;  $\eta_d = 0,88$  і  $\eta_m = 0,97$ .

**Розв'язування.** Згідно з виразом (5.27) очікуване річне зниження рівня електроспоживання:

$$\Delta W = 0,00286 \cdot \frac{(0,73 - 0,62)}{0,62 \cdot 0,73 \cdot 0,88 \cdot 0,97} \cdot 300 \cdot 150 \cdot 3000 = 109931,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

#### 5.4.2. Енергоефективні режими роботи багатоагрегатних головних водовідливних установок

Значно складніше вирішується завдання зниження величини витрати електроенергії для багатоагрегатних насосних установок (наприклад, ГВУ вугільних шахт), де кількість насосів досягає 6 – 8 і більше. Особливо це виявляється, коли головний водовідлив шахти бере участь у регулюванні режимів електроспоживання і до роботи підключаються усі насосні агрегати (робочі та резервні).

Загальні передумови РРЕ за допомогою головного водовідливу вугільних шахт виходять з того, що у більшості випадків він є тільки потенційним СР. Створення ефективного СР за рахунок водовідливу потребує значних додаткових коштів і технічної можливості та бажання для його побудови. Особливо це стосується багатоагрегатних ГВУ. Деякі міркування стосовно цього питання та відповідні розрахунки наведені у розд. 7.

При реалізації такого підходу досягається бажане зниження величини оплати за спожиту електроенергію, але необхідність інтенсивної роботи насосів, що виникає у певні періоди доби, може призвести до збільшення питомої витрати електроенергії, оскільки використовуватимуться не лише робочі, але і резервні насосні агрегати. Отже, для реалізації таких режимів роботи слід створити технологічні та технічні умови, при яких ГВУ працюватиме в зоні максимального ККД з мінімальною питомою витратою електроенергії.

Режим відкачування води ГВУ визначають шахтним припливом, об'ємом водозбірників, параметрами насосів та безпосередньо самим процесом керування цим режимом. Таке керування можливо за допомогою способу, що забезпечує отримання найбільш енергоекономічного режиму функціонування водовідливу з урахуванням дійсних параметрів його обладнання. Досягається це



шляхом імітаційного моделювання (див. рис. 5.6), коли вибирається оптимальний режим роботи ГВУ, за яким у період максимального навантаження енергосистеми насоси будуть відключені, а добові грошові витрати на оплату споживаної електроенергії будуть мінімальними. Такий спосіб дозволяє також обмежити загальну кількість вмикань насосів протягом доби, що збільшить термін їх експлуатації.

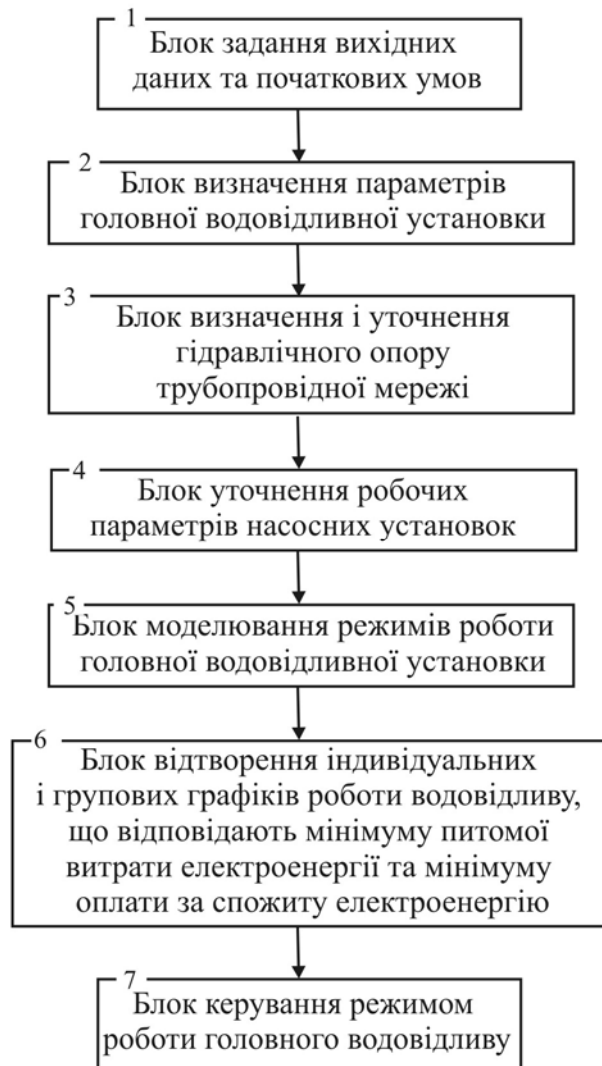
У блоці задання вихідних даних та початкових умов 1 (рис. 5.6) здійснюється введення необхідної інформації для конкретної ГВУ шахти, наприклад, горизонт водовідливу, загальний об'єм водозбірника, кількість та діаметр трубопроводних ставів, кількість насосів та їх номінальні параметри тощо.

У блоці визначення параметрів ГВУ 2 розраховується робочий об'єм водозбірника з урахуванням його замулення, а також параметри напірної характеристики трубопроводної мережі та характеристики насосних агрегатів.

У блоці визначення й уточнення гідравлічного опору трубопроводної мережі 3 обчислюється еквівалентний опір для стандартної кільцевої схеми з урахуванням замулення трубопроводу ( $\text{год}^2/\text{м}^5$ ):

$$R_{ек} = \frac{8\xi}{3600^2 \pi^2 g K_d D_{mp}^4},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору зовнішньої мережі установки;  $K_d$  – коефіцієнт фактичного діаметра трубопроводу;  $D_{mp}$  – діаметр напірного трубопроводу, мм.



**Рис. 5.6. Узагальнена блок–схема керування режимами роботи ГВУ вугільної шахти**

Коефіцієнт  $K_d$  характеризує дійсний внутрішній діаметр трубопроводу, який змінюється у процесі його експлуатації. Зменшення діаметра трубопроводів ( $K_d < 1$ ) призводить до збільшення гідравлічного опору трубопровідної мережі та, як наслідок, до зміни робочих параметрів насосів. Такі зміни впливають на техніко-економічні показники роботи ГВУ, тому що при збільшенні ступеня замулення трубопроводу відповідно зростає питома величина витрати електроенергії на водовідлив.

У процесі моделювання режимів роботи водовідливу треба уточнювати дійсний діаметр трубопроводу:

- при  $K_d = 1$  ступінь замулення дорівнює нулю;
- при  $K_d < 1$  фактичний діаметр трубопроводу може задаватися індивідуально для будь-яких умов з урахуванням дійсного ступеня замулення:

$$D_{ф.мп} = K_d D_{мп}.$$

Найчастіше більш енергоекономічний режим роботи насосного агрегата відповідає його роботі на один трубопровід (два насоси працюють на два тру-

бопроводи). Однак на багатоагрегатних ГВУ подібні умови не реалізуються, що призводить до зниження продуктивності насосів при їх паралельній роботі та відповідно до збільшення питомої витрати електроенергії.

При зменшенні внутрішнього діаметра трубопроводів через їх замулення наведені показники погіршуються і навіть досягають критичних значень, тобто пропускна здатність трубопроводів не дозволяє повністю використовувати можливості насосів для відкачування води. Це призводить до вмикання максимальної кількості насосів і, як наслідок, до збільшення питомої витрати електроенергії. Вирішити цю проблему можливо шляхом контролю стану і своєчасного очищення трубопроводів від вапняних відкладень, а також встановлення додаткових трубопровідних ставів, якщо це дозволяють технологічні умови.

У блоці уточнення робочих параметрів насосних установок 4 відбувається перерахунок робочих параметрів насосів з урахуванням їх технічного стану.

Напір  $H_p$ , подача  $Q_p$ , ККД  $\eta_p$  і споживана потужність одного насоса  $P_p$  залежно від кількості одночасно працюючих насосних агрегатів  $N_n$  та трубопроводів  $N_{mp}$  розраховуються за такими формулами:

$$\left. \begin{aligned} Q_p &= \sqrt{\frac{ZH_k - H_n}{ZB_k + \frac{H_n R_{ek} N^2}{N_{mp}^2}}}; \\ H_p &= Z(H_k + A Q_p - B Q_p^2); \\ \eta_p &= a Q_p - b Q_p^2 + c Q_p^3; \\ P_p &= \frac{1020 Q_p H_p}{102 \cdot 3600 \eta_p \eta_\delta \eta_m}, \end{aligned} \right\} \quad (5.28)$$

де  $\eta_p$ ,  $\eta_\delta$ ,  $\eta_m$  – ККД відповідно насоса, двигуна та електричної мережі ( $\eta_m$  приймається таким, що дорівнює 0,97,  $\eta_\delta$  визначається за довідником);  $H_k$  – напір насоса при нульовій подачі, м;  $H_n$  – повна висота підняття води, м;  $Z$  – кількість секцій (коліс) насоса;  $B_k$  – коефіцієнт напору одного колеса;  $A$ ,  $B$  – постійні коефіцієнти рівняння напірної характеристики насосного агрегата;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – постійні коефіцієнти рівняння кривої ККД насоса [18].

Основним показником ефективної роботи насосної установки є його ККД, який залежить від рівня технічного стану обладнання, а від його величини – робочі параметри насоса. У процесі тривалої експлуатації насоса спостерігається погіршення його технічного стану і відповідно зменшення його ККД:

$$\eta_{н.ф} = K_\eta \eta_p,$$

де  $K_\eta$  – коефіцієнт фактичного ККД насосів.

Величина  $K_\eta$  визначає ступінь зменшення ККД насоса відносно паспортного значення:

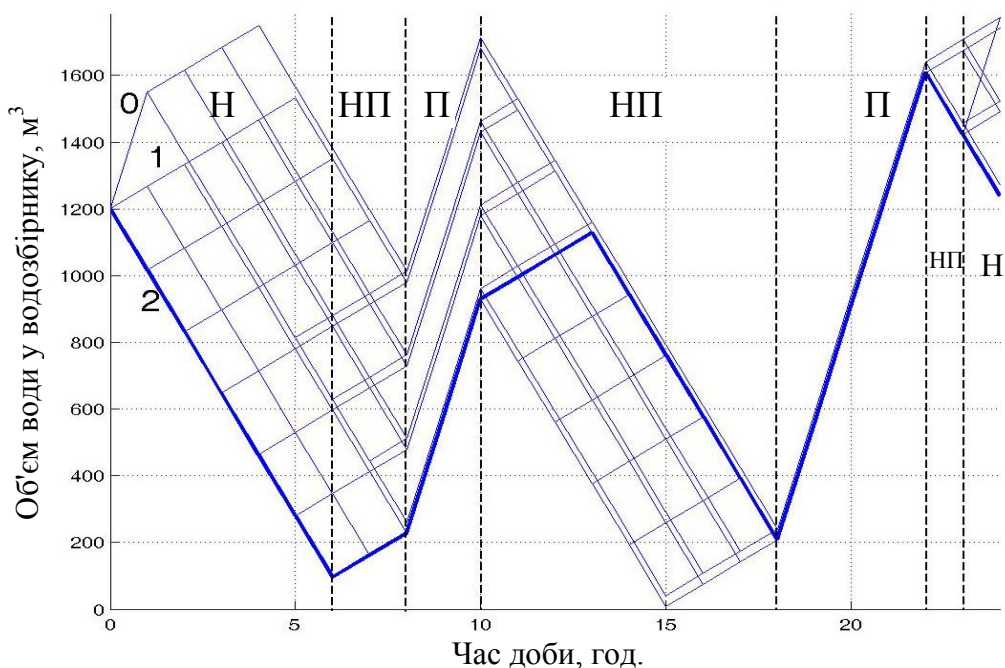
- при  $K_\eta = 1$  показник погіршення технічного стану насосів дорівнює нулю, тобто їх ККД відповідає розрахунковим значенням;

- при  $K_\eta < 1$  фактичний ККД насосів може задаватися індивідуально для будь-яких умов з урахуванням дійсного показника погіршення його технічного стану.

При такому підході уточнюється фактичне для конкретного режиму роботи значення ККД насосів, але для коректного визначення величини питомої витрати електроенергії слід розв'язати зворотню задачу, тобто перерахувати робочі параметри насосів, котрі мають знижений (уточнений) ККД. Розв'язання кубічного рівняння методом Вієта-Кардано дозволяє уточнити робочі параметри насосних установок при погіршенні їх технічного стану і відповідно більш точно розрахувати питому витрату електроенергії.

У блоці моделювання режимів роботи ГВУ 5 відбувається формування режимів її роботи з урахуванням технологічних умов для конкретного об'єкта.

У блоці відтворення індивідуальних і групових графіків роботи водовідливу 6 перебираються змодельовані варіанти роботи та вибирається з них циклічний режим для заданого періоду часу (зазвичай доби). Серед отриманої кількості циклічних графіків вибирається режим роботи ГВУ, який відповідає двом основним критеріям: мінімальна питома витрата електроенергії та мінімальна величина оплати за спожиту електроенергію. До того ж, цей спосіб дозволяє відтворити режими роботи водовідливу, для яких значення даних критеріїв відрізняються від мінімального на певний відсоток, величина якого задається на розсуд відповідального (керуючого) персоналу. Оскільки режим роботи ГВУ з мінімальною платою за спожиту електроенергію не завжди відповідає мінімальному значенню питомої витрати електроенергії, то такий підхід розширює можливість вибору потрібного режиму для конкретних умов (рис. 5.7).



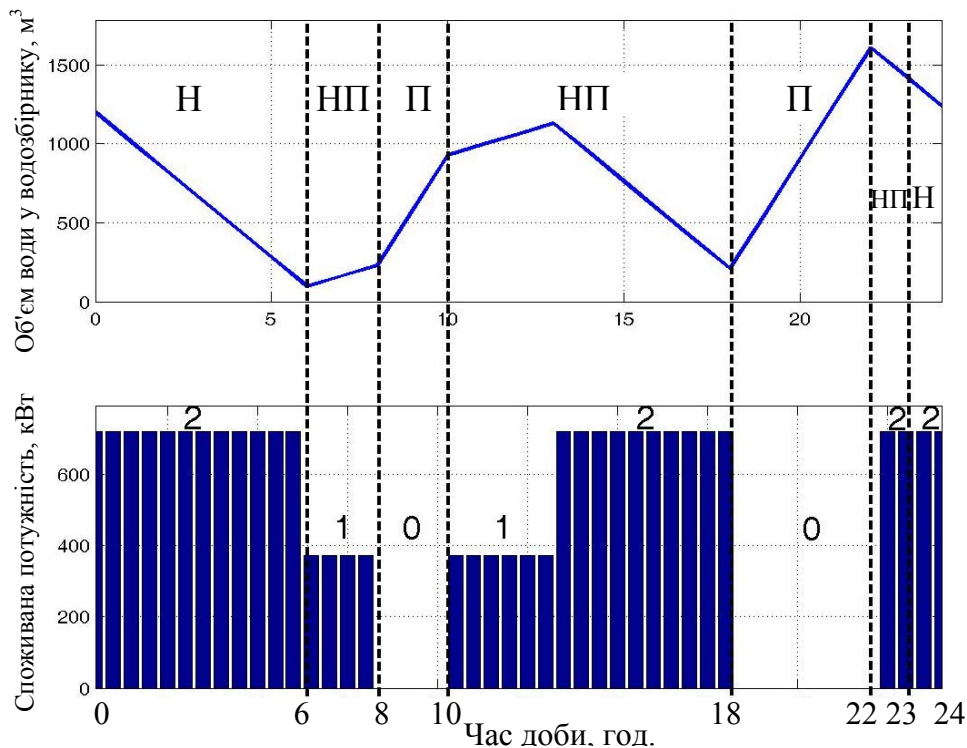
**Рис. 5.7. Схема вибору можливих режимів роботи ГВУ з двома насосами**

На рис. 5.7 наведена схема вибору можливих режимів роботи ГВУ, що наочно демонструє принципи моделювання та отримані результати у вигляді множини режимів роботи головного водовідливу при однакових початкових даних і умовах (наприклад,  $N_n = 2$ ,  $T_p = 24$  години, загальну кількість вмикань насосів на добовому інтервалі обмежено до 6). При об'ємі води у водозбірнику на початок доби  $V_0 = 1200 \text{ м}^3$  пропонується три варіанти роботи насосів: 0 – не працює жоден із насосів, 1 – працює один, 2 – працюють два насоси, а також можлива зміна режиму роботи насосних агрегатів кожну годину ( $t_n = 1$  год). При цьому режими роботи ГВУ моделюються у певних межах параметрів водозбірника та згідно з вимогами вимикання насосів у періоди максимального навантаження енергосистеми.

Жирними ламаними лініями як приклад виділений один з можливих режимів функціонування ГВУ на добовому інтервалі. Тут у нічний період з 00<sup>00</sup> до 06<sup>00</sup> годин і з 23<sup>00</sup> до 24<sup>00</sup> годин – працюють два насоси; у період напівпікових навантажень з 06<sup>00</sup> до 08<sup>00</sup> годин і з 10<sup>00</sup> до 13<sup>00</sup> годин – працює один насос, а з 13<sup>00</sup> до 18<sup>00</sup> годин і з 22<sup>00</sup> до 23<sup>00</sup> годин – два насоси; у період максимальних навантажень з 08<sup>00</sup> до 10<sup>00</sup> годин і з 18<sup>00</sup> до 22<sup>00</sup> годин – насоси не працюють.

У блоці керування режимом роботи головного водовідливу 7 здійснюється аналіз змодельованих режимів та вибирається один із найбільш прийнятних для даних конкретних умов (див. рис. 5.8). Для цього режиму визначається плата за спожиту електроенергію за добу; загальна витрата електроенергії за добу та питома витрата електроенергії. Ця інформація прямує до відповідального персоналу, який реалізує обраний режим роботи вручну або автоматично за наявності відповідної системи керування.

На рис. 5.8 розглянуто режими роботи двох насосів ГВУ за добовий інтервал: графік наповнення–спустошення водозбірника та відповідний йому графік споживаної насосами потужності, де 0, 1 і 2 – кількість одночасно працюючих насосів; Н, НП і П – відповідно нічна, напівпікова та пікова зони доби.



**Рис. 5.8. Графік режимів роботи двох насосів**

Крім того, існує можливість реалізації "модуля порівняння", за допомогою якого можливо здійснювати порівняльний аналіз числових значень фактичної питомої витрати електроенергії з розрахунковими та надавати відповідні рекомендації відносно причин зміни цих величин (це може бути замулення трубопроводів, погіршення технічного стану насосних агрегатів тощо).

Отже, наведений спосіб керування ГВУ шахти дозволяє вибирати найбільш енергоекономічний режим роботи водовідливу на заданому інтервалі часу за критеріями мінімальної питомої витрати електроенергії та мінімальної плати за споживану протягом доби електроенергію. Це дає можливість зменшити на 10 – 15 % грошові витрати підприємства на її оплату та відповідно знизити рівень електроспоживання.

**Приклад 5.15.** За рахунок очищення від замулення двох робочих трубопроводів ГВУ вугільної шахти питомі витрати електроенергії на відкачування води зменшилися з  $w_1 = 1,28$  до  $w_2 = 1,1$  кВт·год/м<sup>3</sup>. Визначити річний обсяг зниження рівня електроспоживання насосами водовідливу за умови, що вони відкачують за добу  $Q_{доб} = 7200$  м<sup>3</sup> води.

**Розв'язування.** Зменшення величини питомої витрати електроенергії

$$\Delta w = w_1 - w_2 = 1,28 - 1,1 = 0,18 \text{ кВт·год/м}^3.$$

Річний обсяг зниження рівня електроспоживання насосами ГВУ

$$\Delta W = 365 \Delta w Q_{доб} = 365 \cdot 0,18 \cdot 7200 = 473040,0 \text{ кВт·год.}$$

Своєчасне очищення трубопроводів ГВУ може дати досить значний ефект у вигляді зниження рівня електроспоживання насосами водовідливу,

величина якого суттєво залежить від глибини шахти, водоприпливу, ступеня замулення трубопроводів та інших чинників.

**Приклад 5.16.** За рахунок уведення в експлуатацію додаткового трубопроводу вдалося знизити питомі витрати електроенергії на відкачування води з  $w_1 = 2,12$  до  $w_2 = 1,64$  кВт·год/(м<sup>3</sup>·100 м). Визначити річний обсяг зниження рівня електроспоживання насосами ГВУ за умови, що вони відкачують за добу  $Q_{доб} = 11400$  м<sup>3</sup> води, а глибина шахти  $H = 500$  м.

**Розв'язування.** Зменшення величини питомої витрати електроенергії

$$\Delta w = w_1 - w_2 = 2,12 - 1,64 = 0,48 \text{ кВт·год/(м}^3\cdot 100 \text{ м)}.$$

З урахуванням глибини шахти  $\Delta w = 0,48 \cdot (500 / 100) = 2,4$  кВт·год/м<sup>3</sup>.

Річний обсяг зниження рівня електроспоживання насосами ГВУ

$$\Delta W = 365 \Delta w Q_{доб} = 365 \cdot 2,4 \cdot 11400 = 9986,4 \cdot 10^3 \text{ кВт·год}.$$

Введення в експлуатацію додаткового трубопроводу ГВУ значно підвищує її енергоефективність за рахунок зменшення величини питомої витрати електроенергії на відкачування води.

## 5.5. Компресорні установки

Компресори застосовуються для стиснення газової суміші, у тому числі й повітря. Ефективне використання електроенергії при експлуатації компресорних установок досягається за рахунок:

- підвищення ККД компресора (модернізація або заміна на досконаліший);
- інтенсифікації охолодження;
- застосування всмоктувальних трубопроводів резонансної довжини;
- зниження витоків стисненого повітря і зменшення втрат тиску в пневмомережі;
- дотримання графіків режиму роботи компресорних станцій;
- нормування величини витрати електроенергії на вироблення стисненого повітря та ін.

Зниження ККД компресора призводить до річних втрат електроенергії, які розраховуються так (кВт·год):

- для поршневих компресів

$$\Delta W = \frac{KAQ_k}{60\eta_n\eta_d} \left( \frac{\eta_k - \eta_{k.ф}}{\eta_k\eta_{k.ф}} \right) T_k \cdot 10^{-3}, \quad (5.29)$$

де  $K = 1,1 - 1,2$  – коефіцієнт запасу потужності;  $A$  – робота, необхідна для стиснення 1 м<sup>3</sup> повітря до заданого рівня, Дж/м<sup>3</sup>;  $Q_k$  – продуктивність компресора, м<sup>3</sup>/хв (визначають витратоміром або приймають за технічною документацією);  $\eta_k, \eta_n, \eta_d$  – ККД відповідно компресора, передачі та двигуна;  $t_k$  – тривалість ро-

боти компресора за розрахунковий період, год;  $\eta_{к.ф} = \frac{KAQ_k \cdot 10^{-3}}{60\eta_n\eta_\delta P_c}$  – фактичний

ККД компресора;  $P_c$  – фактична потужність, споживана електродвигуном компресора з мережі та визначується аналітично або за допомогою вимірювальних приладів, кВт;

- для турбокомпресорів

$$\Delta W = \frac{L_{із} Q_k}{60\eta_n\eta_\delta} \left( \frac{\eta_k - \eta_{із.ф}}{\eta_k\eta_{із.ф}} \right) T_k \cdot 10^{-3}, \quad (5.30)$$

де  $L_{із}$  – робота, витрачується на ізотермічне стиснення, яка дорівнює величині питомої роботи  $A$  за табл. 5.1, Дж/м<sup>3</sup>;  $\eta_{із.ф} = \frac{L_{із} Q_k \cdot 10^{-3}}{60\eta_\delta P_c}$  – фактичний ізотермічний ККД турбокомпресора [14].

За відсутності даних можна прийняти, що  $\eta_k = 0,6 \dots 0,8$  – для поршневих компресорів,  $0,6 \dots 0,7$  – для турбокомпресорів,  $\eta_n = 0,97$ ,  $\eta_\delta = 0,95$ .

**Таблиця 5.1**

**Величина питомої роботи компресорів**

Тиск, 10 <sup>5</sup> Па	Величина питомої роботи $A$ , 10 <sup>3</sup> Дж/м <sup>3</sup>		Тиск, 10 <sup>5</sup> Па	Величина питомої роботи $A$ , 10 <sup>3</sup> Дж/м <sup>3</sup>	
	поршневих компресорів	турбоком- пресорів		поршневих компресорів	турбоком- пресорів
4	154,01	–	8	241,30	204,05
5	179,52	–	9	258,00	215,33
6	203,06	175,60	12	292,30	–
7	220,79	190,30	–	–	–

*Інтенсивне охолодження компресорів досягається за рахунок максимального використання проміжних холодильників для зниження температури стисненого повітря. Якщо температура стисненого повітря, що виходить з проміжного холодильника, перевищує допустиму, то річна нераціональна величина витрати електроенергії визначається так:*

- для поршневого компресора

$$\Delta W = \frac{P_c(t - 60) 0,01}{6} T_k; \quad (5.31)$$

- для турбокомпресора

$$\Delta W = \frac{P_c(t - 70) 0,01}{7} T_k; \quad (5.32)$$



де  $t$  – температура стисненого повітря, що виходить з проміжного холодильника, °С.

Застосування всмоктувальних трубопроводів резонансної довжини на поршневих компресорах зменшує величину питомої витрати електроенергії на 3 – 5 % при одночасному підвищенні продуктивності на 5 – 8 %. Необхідну резонансну довжину всмоктувального трубопроводу обчислюють за формулою (м)

$$l = \lambda / 4, \quad (5.33)$$

де  $\lambda = v / \nu$  – довжина звукової хвилі, м;  $v$  – швидкість звуку при температурі 20 °С, яка дорівнює 344 м/с;  $\nu = n_g / 60$  – частота звукових хвильових імпульсів;  $n_g$  – частота обертання колінчастого вала компресора, об/хв.

Річна нераціональна величина витрати електроенергії при роботі компресора з нерезонансною довжиною всмоктувального трубопроводу

$$\Delta W = 0,05 P_c T_k.$$

**Приклад 5.17.** Визначити резонансну довжину всмоктувального трубопроводу для компресора ВМ-16/70 при частоті обертання вала  $n_g = 500$  об/хв.

**Розв'язування.** Частота звукових хвильових імпульсів

$$\nu = 500/60 = 8,33 \text{ Гц},$$

а довжина звукової хвилі

$$\lambda = 344 / 8,33 \approx 41,3 \text{ м}.$$

Тоді резонансна довжина трубопроводу згідно з формулою (5.33)

$$l = 41,3 / 4 \approx 10,3 \text{ м}.$$

Величина витрати стисненого повітря складається з корисної витрати повітря, споживаного пневмомеханізмами, та об'єму витоків. Останні поділяються на дві групи: витоки у магістральній пневмережі та витоки у місцях приєднання механізмів.

Нормативна величина витоків першої групи залежить від довжини повітропроводної мережі (питома норма витоків на 1 км магістральної пневмережі  $a_1 = 2,7 \text{ м}^3/\text{хв}$  при тиску  $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ), а другої – від кількості постійно приєднаних до мережі механізмів (питома норма витоків  $a_2 = 0,35 \text{ м}^3/\text{хв}$  на одне приєднання при тиску  $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ). Сумарне нормативне значення величини витоків

$$Q_{\text{вит.н}} = a_1 \sum l + a_2 m, \quad (5.34)$$

де  $\sum l$  – сумарна довжина пневмережі з металевими трубами, км;  $m$  – загальна кількість приєднаних до пневмережі механізмів.

Непродуктивну величину витрати електроенергії при нормативному значенні витоків (5.34) визначають згідно з технологічною нормою витрати електроенергії на вироблення стисненого повітря.

Величина витрати електроенергії компресором (кВт·год)

$$\Delta W = \frac{AQ_k T_k (1 + K_{don})}{60 \eta_k \eta_n \eta_d} 10^{-3}, \quad (5.35)$$

де  $K_{don} = P_{don} / P_{в.к}$  – питома вага допоміжних електроприймачів компресорної установки;  $P_{в.к}$  і  $P_{don}$  – встановлена потужність відповідно електроприймачів компресора та допоміжних електроприймачів, кВт.

**Приклад 5.18.** На компресорній станції шахти застосовують компресори типу ВГ–100, які задовольняють потреби шахти в стисненому повітрі в об'ємі  $150 \text{ м}^3/\text{хв}$  при тиску  $6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Визначити технологічну норму витрати електроенергії на вироблення стисненого повітря за умови, що річне число годин роботи компресорів  $t_k = 4000 \text{ год}$ ;  $K_{don} = 0,12$ ;  $\eta_k = 0,7$ ;  $\eta_n = 0,98$ ;  $\eta_d = 0,98$ ; довжина пневмомережі  $l = 4,3 \text{ км}$ ; кількість приєднань  $m = 5$ .

**Розв'язування.** Річну величину витрати електроенергії (кВт·год) на виробництво стисненого повітря розраховуємо за формулою (5.35), заздалегідь визначивши за табл. 5.1 величину  $A = 203,06 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^3$  (при тиску  $6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ).

$$W_k = \frac{203,06 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 4000 (1 + 0,12) \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,7 \cdot 0,98 \cdot 0,98} = 3382923,8.$$

Об'єм стисненого повітря, виробленого компресорами за рік:

$$Q_k = 150 \cdot 60 \cdot 4000 = 36000,0 \text{ тис. м}^3,$$

а технологічна питома величина витрати електроенергії на вироблення  $1 \text{ тис. м}^3$  стисненого повітря

$$H_{т.к} = W_k / Q_k = 3382923,8 / 36000 \approx 94 \text{ кВт·год/тис. м}^3.$$

Сумарна нормативна величина витоків повітря згідно з формулою (5.34)

$$Q_{вит.н} = 2,7 \cdot 4,3 + 0,35 \cdot 5 = 13,4 \text{ м}^3/\text{хв};$$

а за рік

$$Q_{вит.н.р} = 13,4 \cdot 60 \cdot 4000 = 3216,0 \text{ тис. м}^3,$$

що складає майже 10 % від об'єму виробленого стисненого повітря. Для нормативних величин витоків річна непродуктивна витрата електроенергії

$$\Delta W_k = 3216,0 \cdot 94 = 302,3 \text{ тис. кВт·год.}$$

Як свідчить практика, фактичні значення витоків повітря досягають 25–40 %, тобто значно перевищують нормативні.

## 5.6. Способи зменшення втрат електроенергії у повітряних та кабельних лініях

Як відомо, знизити рівень втрат електричної енергії у мережах можливо шляхом переведення мереж на більш високу напругу, заміни перерізу і матеріалу проводів, зменшення довжини ліній.

Втрати активної потужності  $\Delta P$  (кВт) і енергії  $\Delta W$  (кВт·год) у трифазних повітряних лініях і кабелях визначаються так:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= 3I^2 R \cdot 10^{-3}; \\ \Delta P &= \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R; \end{aligned} \right\} \quad (5.36)$$

$$\Delta W = \Delta P T_p, \quad (5.37)$$

де  $I$  – розрахунковий струм лінії, А;  $R = \rho L / S$  – активний опір проводу або жили кабелю, Ом;  $\rho$  – питомий опір матеріалу проводу при температурі 20 °С (для алюмінію і його сплавів – 0,026 – 0,029, міді 0,0175 – 0,018, сталі 0,1 – 0,14 Ом·мм<sup>2</sup>/м);  $L$  – довжина лінії, м;  $S$  – переріз провідника, мм<sup>2</sup>;  $P$ ,  $Q$  – відповідно розрахункова активна і реактивна потужності лінії, кВт або квар;  $U$  – лінійна напруга, кВ;  $T_p$  – тривалість роботи за розрахунковий період, год.

При переведенні мереж на більш високу напругу зменшення рівня втрат електроенергії у повітряних і кабельних лініях (кВт·год)

$$\Delta W = 0,003 \rho L T_p \left( \frac{I_1^2}{S_1} - \frac{I_2^2}{S_2} \right), \quad (5.38)$$

де  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  – струми у лінії (А) та перерізи проводів (мм<sup>2</sup>) відповідно при низькій і високій напрузі.

Для зниження рівня втрат електроенергії у шахтних підземних мережах застосовують напругу 660 і 1140 В замість 380 В. Щодо подальшого переведення комплексно–механізованих очисних вибоїв вугільних шахт на напругу 1140 В (замість 660), то це дозволить знизити рівень втрат електроенергії у кабельній мережі, величина яких складає 10 – 15 тис. кВт·год на рік для одного вибою.

Для мереж, електроприймачі яких дозволяють застосовувати напругу 10 кВ замість 6, додаткове зниження рівня річних втрат електроенергії складає близько 1 млн кВт·год на одне підприємство. Якщо перехід на напругу 10 кВ неможливий, то підвищення рівня енергоефективності досягається за рахунок заміни перерізу і матеріалу проводів, а також зменшення довжини ліній.

Зменшення рівня втрат електроенергії для таких умов розраховують за залежністю

$$\Delta W = 0,003 I^2 T_p \left( \frac{\rho_1 L_1}{S_1} - \frac{\rho_2 L_2}{S_2} \right), \quad (5.39)$$

яка набуває вигляду при заміні:

- перерізу проводів ( $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ;  $L_1 = L_2 = L$ ):

$$\Delta W = 0,003 \rho L I^2 T_p (1/S_1 - 1/S_2); \quad (5.40)$$

- матеріалу проводів ( $L_1 = L_2 = L$ ;  $S_1 = S_2 = S$ ):

$$\Delta W = 0,003 \frac{L}{S} I^2 T_p (\rho_1 - \rho_2); \quad (5.41)$$

- довжини лінії ( $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ;  $S_1 = S_2 = S$ ):

$$\Delta W = 0,003 \frac{\rho}{S} I^2 T_p (L_1 - L_2); \quad (5.42)$$

- перерізу і матеріалу проводів ( $L_1 = L_2 = L$ ):

$$\Delta W = 0,003 L I^2 T_p \left( \frac{\rho_1}{S_1} - \frac{\rho_2}{S_2} \right). \quad (5.43)$$

Зниження рівня втрат електроенергії при її передачі можливо також за рахунок наближення джерела живлення до споживачів. Це дозволяє жити потужні електроустановки або їх групи не від стаціонарної, а пересувної підстанції, максимально наближеної до електроприймачів.

### 5.7. Зниження рівня втрат електричної енергії у силових трансформаторах

Досягається це за рахунок:

- забезпечення роботи трансформаторів при змінному графіку навантажень та кількості трансформаторів два та більше з мінімальними сумарними втратами (економічно доцільний режим роботи трансформаторів);
- переведення навантаження трансформаторів, які завантажені менш ніж на 30 %, на інші трансформатори;
- вимикання трансформаторів, які працюють на холостому ходу;
- заміни трансформаторів, які систематично завантажені не більш ніж на 30 %, менш потужними;
- перегрупування трансформаторів з метою забезпечення їх роботи з оптимальним завантаженням;
- регулювання коефіцієнта трансформації;
- застосування окремих трансформаторів для зовнішнього освітлення і власних потреб на стаціонарних установках.

Величина втрат активної потужності у двообмотковому трансформаторі (кВт) розраховується як

$$\Delta P'_{тр} = \Delta P'_{xx} + K_3^2 \Delta P'_{кз}, \quad (5.44)$$

де  $\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_e \Delta Q_{xx}$  – зведені втрати потужності холостого ходу, кВт;  $\Delta P_{xx}$  – втрати холостого ходу при номінальній напрузі (за паспортом), кВт;  $\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_e \Delta Q_{кз}$  – зведені втрати потужності короткого замикання;  $\Delta P_{кз}$  – втрати короткого замикання при номінальному навантаженні (за паспортом), кВт;  $K_3 = S_\phi / S_{ном}$  – коефіцієнт завантаження трансформатора, що визначається як відношення фактичного навантаження трансформатора  $S_\phi$  до його номінальної потужності  $S_{ном}$ ;  $\Delta Q_{xx} = S_{ном} I_{xx} / 100$  – реактивні втрати холостого ходу трансформатора, квар;  $I_{xx}$  – струм холостого ходу трансформатора (за паспор-

том), %;  $\Delta Q_{кз} = S_{ном} u_{кз} / 100$  – реактивні втрати короткого замикання трансформатора, квар;  $u_{кз}$  – напруга короткого замикання трансформатора (за паспортом), %;  $K_e$  – економічний еквівалент реактивної потужності (коефіцієнт втрат), значення якого залежно від місця установки трансформатора і особливостей системи електропостачання наведені у табл. 5.2 або вказуються енергопостачальною організацією, кВт/квар.

Величина втрат активної енергії у трансформаторі (кВт·год)

$$\Delta W = \Delta P'_{xx} T_3 + K_e^2 \Delta P'_{кз} T_p, \quad (5.45)$$

де  $T_3$  – загальна кількість годин роботи трансформатора;  $T_p$  – кількість годин роботи трансформатора з номінальним навантаженням, яке за місяць для працюючих в одну зміну підприємств дорівнює 200 годинам, в дві – 450, три – 700.

**Таблиця 5.2**

**Значення економічного еквівалента реактивної потужності**

Трансформатори	$K_e$ , кВт/квар	
	у години максимального навантаження енергосистеми	у години мінімального навантаження енергосистеми
Живляться безпосередньо від шин електростанцій	0,02	0,02
Мережні, живляться від електростанцій на генераторній напрузі	0,07	0,04
Знижувальні 110/35/10 кВ, живляться від районних мереж	0,1	0,06
Знижувальні 10–6/0,4 кВ, живляться від районних мереж	0,15	0,1

Фактичне навантаження трансформатора (кВА)

$$S_\phi = W_a / (\cos \varphi_{cp}) \quad (5.46)$$

з урахуванням того, що

$$\cos \varphi_{cp} = W_a / \sqrt{W_a^2 + W_p^2}, \quad (5.47)$$

де  $\cos \varphi_{cp}$  – середньозважений коефіцієнт потужності трансформатора;  $W_a$ ,  $W_p$  – витрати відповідно активної та реактивної енергії за час  $T_3$  згідно з показаннями лічильників, встановлених на ввідному пристрої трансформатора.

Кількість одночасно працюючих трансформаторів визначають для забезпечення економічно доцільного режиму їх роботи з мінімальними втратами електроенергії. Якщо на підстанції встановлені однотипні трансформатори однакової потужності, то кількість одночасно працюючих трансформаторів визначається за таких умов:

- при зростанні навантаження підключити  $(n + 1)$ -й трансформатор, коли коефіцієнт завантаження працюючих трансформаторів

$$K_3 \geq \sqrt{\frac{n+1}{n}} \sqrt{\frac{\Delta P_{xx} + K_e \Delta Q_{xx}}{\Delta P_{кз} + K_e \Delta Q_{кз}}}; \quad (5.48)$$

- при зниженні навантаження відключити один трансформатор, коли коефіцієнт завантаження працюючих трансформаторів

$$K_3 \leq \sqrt{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\frac{\Delta P_{xx} + K_e \Delta Q_{xx}}{\Delta P_{кз} + K_e \Delta Q_{кз}}}; \quad (5.49)$$

де  $n$  – кількість працюючих трансформаторів.

## 5.8. Ефективне використання електричної енергії освітлювальними установками

Відомо, що підвищити рівень ефективності використання електроенергії при роботі освітлювальних установок можливо шляхом:

- переходу на більш економічні джерела світла;
- впровадження раціональних схем керування освітленням;
- вилучення завищеної встановленої потужності освітлювальних установок;
- застосування місцевого освітлення;
- підтримування номінальних рівнів напруги в освітлювальній мережі;
- зменшення часу роботи штучного освітлення;
- підвищення коефіцієнта використання освітлення;
- застосування автоматичних зарядних станцій для акумуляторних батарей.

Річна величина економії електроенергії при заміні старих світильників на нові з більш високими значеннями ККД (кВт·год)

$$\Delta W_{oc} = \Delta P_{oc} K_n T_{oc}, \quad (5.50)$$

де  $\Delta P_{oc} = (n_c P_c - n_b P_b)$  – різниця у встановленій потужності старих і нових світильників, кВт;  $n_c, n_b$  – кількість відповідно старих і встановлюваних світильників, шт.;  $P_c, P_b$  – потужність відповідно старого і встановлюваного світильника, кВт;  $K_n$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, що дорівнює 0,95 –

для виробничих будівель, 0,6 – для електростанцій, складських приміщень;  
 $T_{oc}$  – річне число годин використання максимуму освітлювального навантаження, год.

**Приклад 5.19.** У результаті реконструкції цеху можлива заміна 100 ламп розжарювання потужністю 200 Вт кожна на 60 люмінесцентних потужністю по 80 Вт за умови дотримання рівня розрахункової освітленості робочих місць. Визначити очікуване зниження рівня електроспоживання, якщо  $K_n = 0,95$  і  $T_{oc} = 4000$  год.

**Розв'язування.** Різниця у встановленій потужності старих і нових ламп

$$\Delta P_{oc} = 100 \cdot 0,2 - 60 \cdot 0,08 = 15,2 \text{ кВт.}$$

Очікуване річне зниження рівня електроспоживання згідно з виразом (5.50)

$$\Delta W_{oc} = 15,2 \cdot 0,95 \cdot 4000 = 57760 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

## 5.9. Зниження споживання реактивної потужності асинхронними двигунами

Основними заходами зниження споживання реактивної потужності асинхронними двигунами є:

- точний вибір потужності та типу електродвигунів на стадії проектування та під час експлуатації.

Потужність електродвигунів слід вибирати згідно з режимами роботи відповідних механізмів без зайвих її запасів. Не слід встановлювати електродвигуни закритого типу в тих приміщеннях, де за умов навколишнього середовища і безпеки дозволено встановлювати двигуни відкритого або захищеного типу, оскільки ті мають гірші енергетичні показники. За інших рівних умов слід віддавати перевагу короткозамкненим АД, які порівняно з двигунами з фазним ротором мають кращі енергетичні характеристики;

- заміна малозавантажених АД двигунами меншої потужності.

Величина споживання реактивної потужності асинхронними двигунами залежить від їх завантаження та технічних параметрів. При номінальних завантаженні й напрузі АД споживає реактивну потужність:

$$Q_{ном} = P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_n / \eta_n, \quad (5.51)$$

де  $P_{ном}$ ,  $\eta_n$  – відповідно номінальна потужність (кВт) і ККД двигуна;  $\operatorname{tg} \varphi_n$  – тангенс, що відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності двигуна  $\cos \varphi_n$ .

Реактивна потужність, споживана з мережі АД при холостому ході, може бути розрахована так (квар):

$$Q_{xx} = \sqrt{3} U_d I_{xx}, \quad (5.52)$$

де  $I_{xx}$  – струм холостого ходу двигуна, А;  $U_{\delta}$  – напруга на затискачах двигуна, кВ.

Для асинхронних двигунів з номінальним коефіцієнтом потужності  $\cos\varphi_n$  у межах 0,91 – 0,93 реактивна потужність холостого ходу складає близько 60 % від потужності при номінальному завантаженні. Для двигунів з  $\cos\varphi_n$ , який дорівнює 0,77 – 0,79, вона досягає 70 %.

Збільшення величини споживання реактивної потужності при повному завантаженні двигуна порівняно з холостим ходом

$$\Delta Q_{ном} = Q_{ном} - Q_{xx} \approx \frac{P_{ном}}{\eta_n} \operatorname{tg} \varphi_n - \sqrt{3} U_{\delta} P_{xx}. \quad (5.53)$$

При завантаженні АД, меншому за номінальне, збільшення величини споживання реактивної потужності порівняно з холостим ходом пропорційне квадрату коефіцієнта завантаження двигуна, тобто  $\Delta Q = K_3^2 \Delta Q_{ном}$ , де  $K_3 = P_{\phi} / P_{ном}$  – коефіцієнт завантаження двигуна.

Реактивна потужність, споживана з мережі АД при будь-якому завантаженні,

$$Q_{ад} = Q_{xx} + \Delta Q_{ном} K_3^2. \quad (5.54)$$

З виразу (5.54) виходить, що заміна малозавантажених АД двигунами меншої потужності сприятиме зниженню споживання реактивної потужності.

При систематичному недовантаженні АД необхідно розглянути можливість збільшення завантаження виробничих механізмів, наприклад, шляхом підвищення кінцевого навантаження при канатній откатці, що, природно, буде сприяти роботі АД з підвищеними значеннями коефіцієнтів завантаження і потужності.

### Контрольні питання

1. Які технічні та технологічні заходи сприятимуть зниженню величини витрати електроенергії вентиляційними установками? Наведіть приклади.
2. Завдяки чому можливо підвищити ККД вентиляторів і систем електропривода та наскільки при цьому зменшується величина витрати електроенергії?
3. Поясніть явище підсосів (витоків) повітря у вентиляційній мережі. Як розрахувати зниження рівня електроспоживання у разі їх зменшення?
4. Як покращити стан вентиляційної мережі та розрахувати зниження величини витрати електроенергії при цьому?
5. Що таке депресія вентиляційної мережі та як її розрахувати?
6. За допомогою яких заходів виконується узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою мережі та для чого це потрібно?
7. Як розрахувати зменшення рівня електроспоживання від зміни кута установки лопаток на робочому колесі осьового вентилятора?



8. З якою метою та за допомогою яких заходів здійснюється підвищення активного завантаження двигуна вентилятора?
9. Викладіть основні шляхи зниження рівня електроспоживання підйомними установками.
10. Що таке тахограма підйомної установки?
11. За рахунок чого можна зменшити величину витрати електроенергії при експлуатації контактних електровозів та як її визначити?
12. На скільки можливо знизити рівень електроспоживання безконтактними електровозами з індуктивною передачею енергії порівняно з акумуляторними?
13. За рахунок яких технічних рішень можливо суттєво зменшити рівень електроспоживання конвеєрним транспортом?
14. Як розрахувати величину витрати електроенергії конвеєрним транспортом?
15. Назвіть один із прогресивних напрямів зниження рівня електроспоживання електроприводами конвеєрів.
16. Поясніть сутність складових витрати електроенергії конвеєрним транспортом.
17. Як визначити величину зниження витрати електроенергії конвеєрним транспортом?
18. Як розрахувати величину зниження витрати електроенергії у ланцюзі з двома конвеєрами?
19. Поясніть процес суміщення характеристик насоса і трубопроводу?
20. Назвіть етапи визначення величини втрати напору в трубопроводі.
21. На яке зменшення рівня електроспоживання насосною установкою слід розраховувати при зниженні опору трубопровідної мережі?
22. За рахунок чого забезпечується зниження рівня електроспоживання при заміні старих типів насосів на нові з більш високим ККД?
23. Що слід віднести до енергоефективних режимів роботи багатоагрегатних насосних станцій водовідливного комплексу шахт?
24. Які виникають проблеми при одночасному вмиканні робочих і резервних насосів? Що при цьому варто враховувати та контролювати?
25. Назвіть основні показники ефективної роботи насосної установки та шляхи їх підвищення.
26. За рахунок чого можливо підвищити ефективність використання електроенергії компресорними установками?
27. Як розрахувати рівень втрат електроенергії при зниженні ККД поршневого компресора?
28. Як розрахувати рівень втрат електроенергії при зниженні ККД турбокомпресора?
29. До чого призводить інтенсивне охолодження компресорів?
30. З якою метою застосовують всмоктувальні трубопроводи резонансної довжини на поршневих компресорах?
31. Назвіть шляхи зменшення рівня втрат електроенергії у повітряних і кабельних лініях.

32. Наведіть основні способи зменшення рівня втрат електроенергії у силових трансформаторах. Як їх розрахувати?

33. Як підвищити рівень ефективності використання електроенергії освітлювальними приладами?

34. За рахунок чого відбувається зниження споживання реактивної потужності асинхронними двигунами?

### **Завдання до самостійної роботи**

1. Досконально розглянути усі приклади, наведені у лекції 5, та висловити свої думки відносно загального зниження рівня електроспоживання технологічними установками.

2. Розглянути вираз (5.54) та зіставити його з матеріалом, викладеним у п. 4.3 частини обмежувачів холостого ходу (рис. 4.7).

### **Теми рефератів**

1. За результатами практики або згідно із завданням розрахувати зниження рівня електроспоживання однією із технологічних установок:

- вентилятор головного провітрювання;
- головна водовідливна установка;
- магістральний конвеєрний транспорт;
- підйомна установка;
- турбокомпресорна станція.

Отримані результати порівняйте з фактичними або з величиною економічного ефекту, отриманого при збільшенні завантаження робочих машин. У процесі вивчення вибраної технологічної установки сформулювати тему дипломної роботи або проекту.

*Матеріал цього розділу висвітлює шляхи підвищення рівня ефективності споживання електроенергії установками, задіяними в технологічних процесах. Студенти кафедри систем електропостачання не вивчають дисципліни, пов'язані з технологіями та технологічними процесами, що значно ускладнює процес засвоєння викладеного матеріалу. Тому основна мета розділу – тільки набуття відповідних знань. Для легшого сприйняття наведеного матеріалу в розділі міститься 19 розв'язаних задач.*

*На доповнення до розд. 4 розглядаються найбільш поширені технологічні установки, які задіяні на вугільних шахтах.*

*На конвеєрному транспорті за рахунок побудови бункерів можливо зменшити час роботи конвеєрів на холостому ході та підвищити їх завантаження. Ефективнішим напрямом є застосування систем регульованого електропривода з перетворювачами електроенергії, які набули значного поширення у технологічних операціях, де необхідне регулювання продуктивності (завантаження). Наприклад, на конвеєрному транспорті така система дозволяє значно зменшити величину витрати електроенергії на виконання відповідного обсягу робіт.*