

УДК 621.313.67

І.В. Пантелєєва

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Матеріали статті присвячені деяким аспектам енергозбереження стосовно електродвигунів, що приводять в дію різноманітні системи в сфері виробництва і побуту. Електродвигуни споживають більше половини електроенергії, що виробляється в країні, тому саме в цьому закладені найбільші резерви енергозбереження за рахунок роботи двигунів у нерегульованому режимі і, отже, з низькою ефективністю. Через недоліки проектування і експлуатації електроприводів коефіцієнт завантаження багатьох машин не перевищує 50%, що викликає зниження встановленої потужності двигунів.

**Ключові слова:** електродвигун, електропривод, енергозбереження, електростанція, насос.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз публікацій.

Енергозбереження повинне перетворитися на підгалузь промислової енергетики, додаткове джерело енергії в Україні. В цих умовах реалізація політики енергозбереження стає стратегічно. Лінією розвитку економіки і соціальної сфери.

Збереження електричної енергії є важливою частиною загальної тенденції по захисту навколишнього середовища. Електродвигуни, що приводять в дію системи в побуті і на виробництві, споживають більше половини вироблюваної енергії, саме тут закладені найкрупніші резерви енергозбереження. Більшість електродвигунів працює в нерегульованому режимі і, отже, з низькою ефективністю. Через недоліки проектування і експлуатації електроприводу коефіцієнт завантаження багатьох машин не перевищує 50%, що диктує необхідність зниження встановленої потужності двигунів. Робота приводу в недовантаженому режимі приводить до величезних втрат, не рахуючи зниженого значення коефіцієнта потужності, оскільки загальна встановлена потужність асинхронних двигунів в країні складає близько 40-50 млн. кВт.

Згідно статистиці, приблизно від 3 до 17,5 % встановлених двигунів виходить з ладу протягом року. Аналіз відмов показує, що дія перенапружень приводить до передчасного старіння ізоляції і виходу двигуна з ладу із інших причин (робота в умовах забруднення і зволоження, підвищеної температури тощо). Через старіння ушкоджується додатково приблизно 5-8% встановлених двигунів щорічно. Пошкодження окремих електродвигунів приводять іноді до подальшого виходу з ладу декількох електродвигунів внаслідок небезпечних перенапружень на збірних шинах. Досвідом експлуатації і результатами відомих досліджень встановлено [1-3], що зі всього переліку відмов електрообладнання компресорних станцій домінуючими є відмови в живлячих мережах і високовольтних двигунів.

Таким чином, при діях перенапружень в мережах компресорних, насосних станцій надійної експлуатації і обґрунтованого техніко-економічного рішення проблеми забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) необхідно розробити неформальне і формальне рішення відповідної задачі ЕМС, теоретичні і практичні критерії цього рішення та технічні оцінки і заходи. Можна констатувати, що ряд теоретичних та технічних задач в напрямі проблем підвищення надійності і забезпечення ЕМС електрообладнання мереж компресорної станції досі не має вичерпних рішень. Це визначає актуальність проблеми і основних напрямів даної статті.

**Метою статті** є розробка математичної моделі процесу прийняття рішень оперативним персоналом АЕС в нештатних аварійних ситуаціях на основі апарату теорії фракталів і синергетики з використанням методів кластерної обробки інформаційного простору.

### Основний матеріал

Шляхами економії електроенергії, наприклад, в підйомних установках можуть бути: виконання оптимальної діаграми швидкості; забезпечення нормованого завантаження підйомних судин; ліквідації або скорочення роботи на холостому ході; контроль стану підйомних судин; застосування досконалих видів електроприводу; специфічні способи, обумовлені типом електроприводу.

Оптимальною діаграмою швидкості з погляду витрати електроенергії буде та, де множник швидкості приймає якнайменше значення

$$\lambda = \frac{V_{\text{MAX}}}{V_{\text{CP}}} = \frac{V_{\text{MAX}} \cdot T_{\text{П}}}{H_{\text{П}}}, \quad (1)$$

де  $V_{\text{max}}$ ,  $V_{\text{cp}}$  – максимальна і середня швидкості руху підйомної судини, м/с;  $H_{\text{п}}$  – висота підйому, м;  $T_{\text{п}}$  – час підйому судини.

Оптимальну діаграму швидкості можна отримати збільшенням прискорення при запуску і уповільнення при гальмуванні, а також при збільшенні в допустимих межах максимальної швидкості підйому. Виконання оптимальної діаграми швидкості забезпечується повною автоматизацією управління, внаслідок чого підвищується як продуктивність установки, так і забезпечується робота з мінімальною витратою електроенергії. Робота на холостому ходу пов'язана із збільшенням нераціональних циклів і додатковою витратою електроенергії. Для її усунення необхідно мати графік роботи підйомної установки в строго його дотримувати.

Сумарна встановлена потужність приводних двигунів вентиляторів, компресорів, насосів складає близько 20% від потужності всіх електростанцій, при цьому тільки вентилятори споживають близько 10% від всієї енергії. Що виробляється. Обстеження Криворізького басейну показали [4], що більшість установок вентиляторів шахт має ККД значно нижче за норму (0,6, а в деяких 0,3 чи 0,4). Тільки 22% вентиляторів працюють в зоні економічного використання. Фактично питома витрата потужності в 1,5-2 рази перевищує допустиму величину, а загальна вартість перевитрати електроенергії приводами головних вентиляторів складає четверту частину витрати електроенергії всіма установками за рік.

Це пояснюється тим, що більшість вентиляторів експлуатується поза зоною економічної роботи, тобто режим роботи вентиляторів не відповідає параметрам вентиляційних мереж (невідповідність фактичних значень еквівалентних отворів вентиляційних напрямів шахт їх проектним значенням; наявність великих підсосів повітря з поверхні через зону обвалення і надшахтні споруди; устаткування вентиляторів нерегульованим приводом тощо).

Причиною низьких енергетичних показників вентиляторів є [5]:

- змінний аеродинамічний опір мережі в процесі розробки шахтного поля;
- відмінність реальних величин параметрів вентиляції від розрахункових призводить до того, що фактичний режим роботи вентилятора значно відрізняється від розрахункового;
- зміна величини природної тяги за сезоном року, а іноді і протягом доби залежно від температури повітря на поверхні;
- зміна метановиделення, яка залежить від атмосферних, гірсько-геологічних чинників, що приводять або до простоїв у разі підвищення допустимої концентрації, або до перевитрати електроенергії.

Шляхи економії електроенергії в установках вентиляторів: узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі, підвищення ККД вентиляційної мережі, підвищення експлуатаційного ККД установок вентиляторів; регулювання

продуктивності установок вентиляторів. Очевидно, що рішення сформульованих задач повинне спиратися на розумне поєднання аналізу даних експлуатації. Експериментальних досліджень і математичного моделювання. При цьому безперечно стає необхідність ускладнення математичних моделей, значною мірою мотивованих, з одного боку, з другого боку – це диктується постійно зростаючими можливостями обчислювальної техніки і спеціального дослідницького програмного забезпечення.

Основна мета: розгляд забезпечення електромагнітної сумісності та підвищення надійності експлуатації електрообладнання КПМС на основі комплексу заходів щодо зниження інтенсивності і небезпеки помехоемісії ЕМП у вигляді внутрішніх перенапружень.

Однієї з основних задач, яку необхідно вирішити у роботі є вибір раціонального способу регулювання швидкості електроприводу залежно від характеру зміни навантаження.

Вибір способу регулювання швидкості при постійному навантаженні.

В регульованому електроприводі при зміні швидкості має місце зміна навантаження двигуна. В той же час для повного використання двигуна його потужність повинна бути вибрана так. Щоб навантаження при роботі на новій швидкості не перевищувало допустиме за умов нагріву. Досягається це вибором відповідного способу регулювання, при якому дотримується дана умова.

Способи регулювання швидкості по умові допустимого навантаження діляться на дві групи:

- регулювання при постійному моменті (зміна напруги на якорі двигуна постійного струму (ДПС) або статорі синхронного двигуна (СД). Зміна опору в роторі асинхронного двигуна (АД) або якорі ДПС;
- регулювання при постійній потужності (ослаблення магнітного потоку ДПС, зміна числа пар полюсів АД, в деяких каскадних схемах).

Регулювання швидкості при постійному моменті забезпечує регулювання швидкості вниз від номінальної, тобто  $\omega_H = \omega_{MAX}$ . Номінальний момент двигуна рівний моменту навантаження. Тобто  $M_H = M_C$  і номінальна потужність рівна:

$$P_H = M_H \cdot \omega_H = M_C \cdot \omega_{MAX} = P_{C_{MAX}} \quad (2)$$

Таким чином, номінальна потужність двигуна дорівнює максимально можливий і при цьому на всіх швидкостях двигун завантажений повністю і працює в нормальному тепловому режимі, тобто спосіб регулювання швидкості є раціональним [3].

Для регулювання швидкості при постійній потужності характерний регулювання швидкості вгору від номінальної. Тому за номінальну швидкість двигуна приймають мінімальну швидкість в діапазоні, тобто  $\omega_H = \omega_{MIN}$ . Оскільки номінальна потужність

двигуна дорівнює максимальній потужності навантаження  $P_{cMAX} = M_c \cdot \omega_{MAX}$ , тоді номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{P_{cMAX}}{\omega_{MIN}} = \frac{M_c \cdot \omega_{MAX}}{\omega_{MIN}} = M_c \cdot D, \quad (3)$$

де  $D = \omega_{MAX} / \omega_{MIN}$  - діапазон регулювання.

З виразу видно, що номінальний момент двигуна повинен в  $D$  раз перевершувати момент навантаження. Двигун завантажений повністю тільки на максимальній швидкості  $\omega_{MAX}$ , коли по якорю протікає номінальний струм, а магнітний потік мінімальний. При інших, менших швидкостях, потік двигуна збільшується, струм в якорі зменшується і тим самим двигун виявляється недовикористовуваним за умовами нагріву. Виявляється завищенням габарит двигуна, який визначається номінальним моментом. Таким чином. При постійному навантаженні використовувannya способів регулювання швидкості при постійній потужності виявляється нерациональним, оскільки вимагає завищення габаритів двигуна.

#### Вибір способу регулювання швидкості при постійній статичній потужності

Регулювання швидкості при постійному моменті можливо тільки вниз від номінального. За номінальну швидкість двигуна приймаємо максимальну швидкість в діапазоні, тобто  $\omega_H = \omega_{MAX}$ . Максимальний момент двигуна, на який він повинен бути вибраний при  $P_c = \text{const}$ , відповідає мінімальній швидкості.

$$M_{cMAX} = P_c / \omega_{MIN} = M_H. \quad (4)$$

Отже, номінальна потужність двигуна

$$P_H = M_H \cdot \omega_H = \frac{P_c \cdot \omega_{MAX}}{\omega_{MIN}} = P_c \cdot D, \quad (5)$$

тобто вона повинна бути в  $D$  раз більше потужності навантаження  $P_c$ . Це означає, що при роботі двигуна на всіх швидкостях, окрім мінімальної, він буде недовантажений і недовикористаний по нагріву.

Регулювання швидкості при постійній потужності забезпечує регулювання швидкості вгору від номінальної. Тоді за номінальну повинна бути прийнята мінімальна швидкість в заданому діапазоні, тобто  $\omega_H = \omega_{MIN}$ , а номінальний момент

$$M_H = \frac{P_c}{\omega_{MIN}} = \frac{P_c}{\omega_H}. \quad (6)$$

Тоді номінальна потужність обраного двигуна

$$P_H = M_H \cdot \omega_H = \frac{P_c \cdot \omega_H}{\omega_H} = P_c, \quad (7)$$

тобто дорівнює потужності навантаження. Двигун при цьому завантажений повністю на всіх швидкостях і працюватиме в нормальному тепловому режимі.

Шляхами економії електроенергії в компресорних установках може бути: контроль ККД компресорів; застосування резонансного наддуву поршневих компресорів; зниження наднормативних витоків

стислого повітря і втрат тиску в невмомережах шахт; узгодження режимів роботи компресорної станції з режимом споживаного стислого повітря; заміна пневмообладнання на електрообладнання; використання регульованого електроприводу.

Щоб не відбувалося зниження ККД компресорів, необхідно здійснювати заходи щодо підвищення ефективності їх роботи, а саме:

- контроль опору повітрязабірному пристрою;
- регулярне очищення фільтрів;
- регулювання притискових пружин клапанів;
- застосування високоякісного мастила частин, що труть. І строго регламентована його подача в циліндри;
- підтримка в справному стані регуляторів продуктивності і забезпечення їх чіткої роботи;
- контроль інтенсивності охолодження компресорів.

Температура стислого повітря на виході з проміжного холодильника не повинна перевищувати температуру охолоджуючої води на вході не більше ніж на  $5-10^{\circ}\text{C}$

#### Визначення раціонального способу регулювання швидкості електроприводу залежно від технологічних умов

При виборі раціонального способу і діапазону регулювання швидкості електроприводу необхідно враховувати наступне:

- сезонне коливання тиску і температури навколишнього середовища вимагає регулювання продуктивності в межах  $10 \dots 15\%$ ;
- за період експлуатації продуктивність може зрости в  $1,5 \dots 2$  рази;
- зміна добового ритму гірських робіт (вибухові роботи в кінці зміни) вимагає підвищення продуктивності на  $15 \dots 20\%$ ;
- в святкові і ремонтні дні продуктивність може складати  $30 \dots 50\%$  робочої.

Найперспективнішим є регулювання зміною швидкості обертання робочого колеса. Закони пропорційності або закони експлуатації турбомашин формулюються: із зміною частоти обертання робочого колеса турбомашини при постійній характеристиці зовнішньої мережі, подача  $\eta$  продуктивність) відповідає: пропорційно першому ступеню натиск – пропорційно квадрату. А споживана потужність – пропорційно кубу частоти обертання:

$$Q1 = Q^* (n1 / n), \quad H1 = H^* (n1 / n)^2; \quad (8)$$

$$P1 = P^* (n1 / n)^3,$$

звідки

$$H1 = H^* (Q1 / Q)^2; \quad P1 = P^* (Q1 / Q)^3. \quad (9)$$

Останні два рівняння є відповідно рівняннями квадратичної і кубічної парабол, що є геометричним місцем точок, координати яких визначають подібні режими турбомашини при зміні її частоти обертання.

На рис. 1 приведені графіки потужності при регулюванні відцентрового вентилятора ВЦЦ-32 направляючим апаратом (НА) і змінною швидкості (ИС). Аналіз характеристик показує, що при невеликій глибині регулювання в області малих і середніх витрат, економічність обох методів однакова. Але із зростанням глибини зміни витрати ефективність регулювання різко зростає.

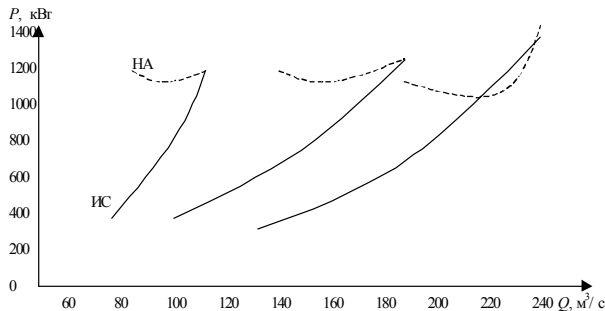


Рис. 1. Графіки потужності при регулюванні відцентрового вентилятора ВЦЦ-32 направляючим апаратом (НА) і змінною швидкості (ИС)

### Висновки

Однією з проблем української енергетики є те, що бракує маневрових потужностей, які дозволяють покривати попит на електроенергію під час пікових навантажень, а також перетікання електроенергії. В статті проаналізовано роботу електрорухомого навантаження в різних режимах. Застосування регульованого електроприводу додатково дає наступні переваги:

1. Зняття обмежень по газовому чиннику на ведення технологічного процесу здобичі і можливість підвищення продуктивності шахти при тому ж устаткуванні і витратах.
2. Істотне збільшення області економічної роботи вентилятора, зменшення числа типорозмірів вентиляторів. Підвищення серійності і зниження вартості вентилятора.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ И ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

И.В. Пантелеева

*Материалы статьи посвящены некоторым аспектам энергосбережения относительно электродвигателей, приводящих в действие различные системы в сфере производства и быта. Электродвигатели потребляют больше половины произведенной в стране электроэнергии, поэтому именно в этом заложены наибольшие резервы энергосбережения за счет работы двигателей в нерегулируемом режиме и, поэтому, с низкой эффективностью. Через недостатки проектирования и эксплуатации электроприводов коэффициент загрузки большинства машин не превышает 50%, что вызывает снижение установленной мощности двигателей.*

**Ключевые слова:** электродвигатель, электропривод, энергосбережение, электростанция, насос.

### DETERMINATION OF RATIONAL MODES OF OPERATION AND ELECTRIC POWER PROJECTS

I.V. Panteleeva

*The article is devoted to some aspects concerning energy saving motors that set in motion a variety of systems in production and life. Electric motors consume more than half of the electricity produced in the country because it is embedded in the largest reserves of energy saving engines in unregulated mode and hence low efficiency. Because of flaws in the design and operation of electric load factor of many vehicles does not exceed 50%, which lowers the installed engine power.*

**Keywords:** electric motor, electric drive, energy saving, electrical power station, pump.

3. Збільшення терміну служби вентилятора за рахунок роботи в полегшених режимах при зниженій швидкості обертання.

4. Зниження витрат на виробництво, передачу і розподіл електроенергії, який обумовлений скороченням її споживання майже в два рази.

5. Вибір раціонального способу регулювання швидкості залежно від характеру зміни навантаження.

Для вибору мінімального по габариту двигуна і забезпечення його повного використання по нагріву необхідно, щоб спосіб регулювання його швидкості по показнику допустимого навантаження відповідав залежності навантаження від швидкості. При навантаженні вигляду  $M_c = \text{const}$  – при постійній потужності.

### Список літератури

1. Ковалев Ф.І., Силова електроніка і енергоресурсозберігання / Ф.І. Ковалев, З.Н. Флоренцев. – Технічна електродинаміка. Темат. вип. «Системи електроживлення електротехнічних установок і комплексів». – К., 1999. – С. 3-14.
2. Лазарев Г.Б. Забезпечення електромагнітної сумісності при застосуванні частотно-регульованих асинхронних електроприводів в системах електропостачання власних потреб ТЕС / Г.Б. Лазарев // Вісник ВНІЕ. – 2000. – С. 55-69.
3. Принципи бар'єрного аналізу електромагнітної сумісності / В.П. Бобров, В.Г. Гольштейн, О.В. Соляков, А.К. Танаєв // Изв. Вузів «Електромеханіка». Доповіді XXVII сесії Всерос. наук. семінару в РФ. Кібернетика електричних систем: 26-29 вересня 2005. – ЮРГТУ (НПП). – Новочеркаськ, 2005. – № 3-4. – С. 16-18.
4. Ковалко М.П. Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисю. – К.: УСЗ, 1998. – 506 с.
5. Браславський І.Я. Про можливості енергозбереження при використуванні регульованих асинхронних електроприводів / І.Я. Браславський // Електротехніка. – 1998. – № 8. – С. 2-5.

Надійшла до редколегії 26.03.2015

**Рецензент** д-р техн. наук, проф. Г.І. Канюк, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.