

Возможность поддержания реактивного тока i_{sp} на данной частоте путем подпитки АМ от КС обеспечивает надежное возбуждение ее в генераторном режиме и, следовательно, устойчивое торможение ТЭП, которое осуществляется путем изменения отношения между ω_s и ω_r . Установившаяся $\omega_s < \omega_r$, т.е. $s < 0$. При этом $E_s > U_s$ и АМ генерирует ток в КС или в тормозной резистор R_Q в течение φ , а на интервале $[\pi - \varphi]$ АМ подпитывается от КС. Изменением величины скольжения s и величины тока подпитки путем ШИМ, регулируют ЭДС АМ, а следовательно и мощность торможения на данной скорости.

Выводы и направления дальнейших исследований. Получены уравнения описывающие характеристики обобщенного асинхронного двигателя. Установлено прямое соответствие обобщенных параметров трехфазной и двухфазной асинхронной машины. Проведенный анализ характеристик двигателей в различных режимах работы показал целесообразность применения двухфазных асинхронных двигателей для тяговых приводов.

Список литературы

1. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии в структурах электроприводов. Схемотехника и принципы управления / [Синчук И.О., Чернышев А.А., Пасько О.В., Киба И.И., Ключка А.С., Мельник О.Е.]. – Кременчуг: Вид. ПП Щербатых О.В., 2008. – 88 с.
2. Синчук О.Н. Контактно-аккумуляторный шахтный электровоз с тяговым электротехническим комплексом: IGBT-инвертор-асинхронный электрический двигатель / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Д.А. Шокарев, Е.И. Скапа, Ф.И. Караманич // Науковий журнал. Вісник СХУ ім. В.Даля – №4 (158) – часть 1.
3. Шаповал В.Г. К вопросу анализа импульсных способов функционирования форм кривых тока и напряжения питания 2-х и 3-х фазных тяговых двигателей / В.Г. Шаповал, И.О. Синчук, В.О. Черная // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М.Остроградського. Зб. наукових праць. – Кременчук: КДПУ ім. М.Остроградського – 2008 – Часть 1, №3 (50) – С. 79-82.
4. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М. – Л., «Госэнергоиздат», 1963, 744 с.
5. Шидловский А.К., Козлов А.В., Комаров Н.С., Москаленко Г.А. Транзисторные преобразователи с улучшенной электромагнитной совместимостью. К., «Наукова думка», 1993. - 272 с.

Рукопис подано до редакції 02.02.12

УДК 621.3.016.4:620.9

В.М. СУРТАСВ, В.В. СУРТАСВ, Ю.Г. ОСАДЧУК, кандидати техн. наук, доценти,
Д.В. БАТРАКОВ, викладач, О.В. ГЕРАСИМЧУК, канд. техн. наук, доц.,
О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, доц., ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТУРБОМЕХАНІЗМІВ В ЕНЕРГОЄМНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Проведено аналіз стану енергоефективності при роботі турбомеханізмів в енергоємних технологіях гірничо-металургійного комплексу, наведені проблемні питання в даному аспекті досліджень. Окреслені основні шляхи підвищення ефективності використання електричної енергії в технологічних процесах гірничо-металургійного комплексу, зокрема в роботі турбомеханізмів.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами. Ресурсо- та енергозбереження в енергоємних технологіях гірничого та металургійного комплексу пов'язані з проблемою технологічних втрат електричної енергії в електричних мережах, частка яких в Україні визначається як «надзвичайно висока» і складає в середньому 3,1-3,6 млрд. кВт·год на рік, або приблизно 22-25 %, від загального обсягу електричної енергії, що виробляється, а також технологічних втрат електричної енергії в процесах її споживання, з кількісними характеристиками споживання електричної енергії безпосередньо технологічними об'єктами та якістю перетворення її параметрів в системах живлення та управління [1-5]. Таким чином значне підвищення енергетичної ефективності у гірничо-металургійному комплексі Кривбасу за рахунок раціонального використання електричної енергії є актуальною науково-практичною задачею в наш час.

Аналіз досліджень та публікацій. Специфічні умови формування енергобалансу з підвищеними рівнями всіх складових потужності (активної, реактивної та ін.) обумовлені [1, 5-8]:

неефективним регулюванням турбомеханізмів (до 95 % насосних, компресорних, вентиляторних та ін. пристроїв цього класу обладнано нерегульованим електроприводом);

неповним використанням силового обладнання (двигунів, перетворювачів, трансформаторів) по встановленій потужності та навантаженню;

відсутністю ефективних за технічною реалізацією методів та засобів компенсації реактивних складових потужності, а також пристроїв та систем оперативного контролю споживання електроенергії безпосередньо в вузлах живлення та управління енергетичними об'єктами.

Викладення матеріалу та результати. Асинхронні двигуни турбомашин (насосних станцій, компресорних установок, вентиляторів тощо) використовують не менш 20-25% всієї виробленої електроенергії. Електроприводи зазначених механізмів, як правило, є нерегульованими, що не дозволяє забезпечити режим раціонального енергоспоживання й витрата води, пару, повітря й т.п. при зміні технологічних потреб у широких межах. Обрані, виходячи з максимальної продуктивності, ці механізми значну частину часу працюють з меншим навантаженням, що визначається зміною потреби в різні періоди роботи [1, 5, 9].

Відомо, що середньодобове завантаження насосів становить 50-55 % від максимального, що є наочним прикладом неефективного використання насосного обладнання у виробничій і комунальній сферах Кривбасу [2-5]. Системи з нерегульованим електроприводом не забезпечують помітного зниження споживаної потужності при регулюванні, а також обумовлюють істотне зростання тиску у мережах, що призводить до витоків й несприятливо позначається на роботі технологічного устаткування й мереж. Наприклад, при існуючих засобах водорозподілу надлишковий (непотрібний у цей момент) напір 10 м (або тиск 0,1 МПа) збільшує витрати води на 5-10 % [2-5,9]. Навмисна зміна подачі й напору насосів, відповідно до змінного режиму роботи систем водопостачання або водовідведення, може виконуватись різними способами, основним з яких на даний момент є зміна ступеня відкриття засувки на напірній лінії. Також можлива періодична робота насосного агрегату при керуванні в стартозупинному режимі на пристрій, що демпфірує і забезпечує підтримку необхідного технологічного параметра, який компенсує кидки й провали потоку рідини при пусках й зупинках насосів. Більшу частину часу експлуатації насосів ККД наближено до максимального значення [1,9]. Споживання ж електроенергії електродвигуном у стартозупинному режимі мінімально. Однак, не завжди можливо використати достатнього об'єму ємність для демпфування і необхідно враховувати негативний вплив пускового струму, що при прямих пусках електродвигунів перевищує номінальне значення у 5-7 разів.

Ще одним, найбільш поширеним в наш час, способом регулювання тиску і витрат в напірному трубопроводі є дроселювання (рис. 1а,б). Спосіб полягає в обмеженні поперечного перерізу випускного тракту насоса за допомогою дросельної засувки. На жаль, цей спосіб регулювання негативно впливає на ККД турбомашини. Дросельна засувка чинить опір потоку рідини, що рухається, таким чином частина енергії розсіюється на засувці. При дроселюванні швидкість обертання робочого колеса насоса залишається практично незмінною, при цьому асинхронний електродвигун працює безпосередньо від мережі і його швидкість на 5-7 % менше від синхронної частоти. При цьому споживання електроенергії двигуном пропорційно продуктивності насоса [10]. Дросельна засувка також може встановлюватися на вході насоса (рис.1б), обмежуючи, приплив рідини, при цьому насос не має підвищені витрати енергії, тому що частина її витрачається на подолання опору засувки. При роботі насоса в умовах, що обмежують плив рідини, проявляються такі нелінійні ефекти, як кавітація. При цьому зменшується ефективна площа поверхні лопатей робочого колеса насоса, які беруть участь у створенні тиску. Тому даний спосіб, як правило, не застосовують для перекачування рідин. З енергетичної точки зору він краще попереднього, але він також негативно впливає на ККД насоса і при цьому споживання електроенергії пропорційно квадрату продуктивності насоса [9-10].

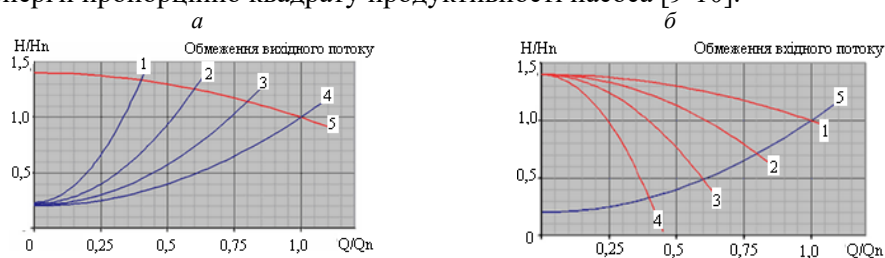


Рис. 1. Характеристики насосу та системи: а - при обмеженні вихідного потоку (криві 1-4 - характеристики системи; крива 5 - характеристика насосу); б - при обмеженні вхідного потоку (1-4 - характеристики насоса; крива 5 - характеристика системи)

Робота насоса на засувку має ряд недоліків, насамперед, збільшується зношування самого насосного агрегату й запірно-регулюючої арматури, установлені на ньому, проявляється ефект резонансу, перегрів насоса через недостатній теплообмін і т. д., окрім цього значно зменшується ККД установки в цілому, що наочно відображено на рис. 2а,б [9-10].

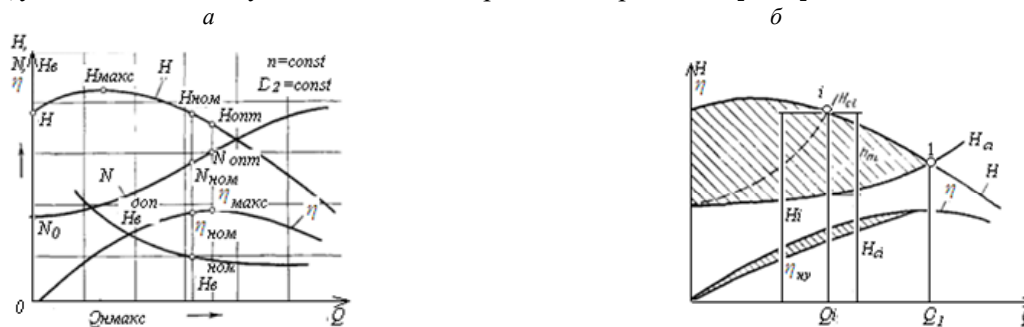


Рис. 2. Характеристики лопатевих насосів а - характеристика $H(Q)$, $N(Q)$, $\eta(Q)$ - залежність напору, потужності і ККД від подачі Q відповідно; б - дросельне регулювання роботою насоса (H_{c1} - характеристика системи при відкритій засувці, H_i - характеристика системи для відповідного степеня відкриття заслінки)

Отже, даний спосіб регулювання спрямований на вирішення технологічних завдань, в комплексі не вирішує задачу енергозбереження при транспортуванні рідин. Насосний агрегат у даному випадку витрачає електроенергію на подолання протитиску на засувці. Дроселювання вимагає наявності на об'єкті чергового персоналу, що обумовлює високу залежність від людського фактору.

Найбільш ефективний спосіб регулювання передбачає зміну швидкості обертання робочого колеса насоса (рис. 3) [9-10]. Завдяки цьому можна забезпечити необхідний напір у всій області регулювання, не погіршуючи при цьому ККД насоса в порівнянні із дроселюванням.

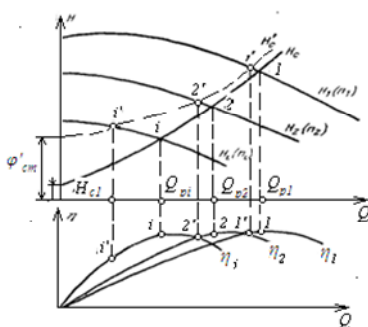


Рис. 3. Регулювання зміною частоти обертання 1,2 і характеристики насоса $H(Q)$, $\eta(Q)$ при зміні частоти обертання від n_1 до n_2 , відповідно

При зміні частоти обертання насоса змінюється положення Q - H характеристики.

Фізичний принцип дії насосів визначає закони подібності для основних характеристик насоса: продуктивність насоса Q лінійно залежить від швидкості обертання колеса, створюваний при цьому напір H залежить від квадрата швидкості, і, відповідно, необхідна при цьому механічна потужність P залежить від куба швидкості [10]

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_A}{H_B} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2; \quad \frac{N_A}{N_B} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3.$$

Отже, по суті єдиний ефективний спосіб регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна - зміна частоти з одночасною зміною напруги при використанні перетворювача частоти [9,10].

При цьому термін окупності інвестицій в устаткування становить від 6 до 18 місяців залежно від механізму, режимів його роботи та потужності приводного двигуна [9]. Застосування перетворювачів частоти забезпечує наступні переваги в порівнянні з іншими способами: ефективне використання асинхронних електродвигунів, дешевих в експлуатації та ремонті, ККД електродвигуна у всьому діапазоні регулювання максимально відповідає ККД електродвигуна в номінальному режимі, ККД перетворювача 95-98 %, коефіцієнт потужності близький до 0,9-1,0, плавний пуск електродвигуна, відсутність гідравлічних ударів, зниження рівня шуму при пуску та роботі, автономна безпечна робота, інтеграція в АСУ ТП 4.

Порівняння різних методів регулювання продуктивності насосів з точки зору споживання електроенергії наведено на рис. 4. Найбільш ефективним є частотне регулювання роботою насоса.

Найбільша ефективність застосування перетворювачів частоти проявляється на об'єктах з великим змінним навантаженням, яке передбачає велику глибину регулювання.

При малих витратах води насосний агрегат обертається на малій швидкості, що забезпечує підтримку номінального тиску, споживаючи при цьому тільки ту кількість електроенергії, яка необхідна для виконання технологічного завдання.

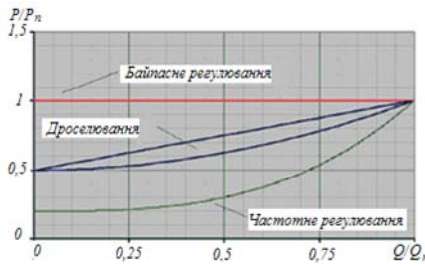


Рис. 4. Порівняння способів регулювання роботою насоса P/P_n , Q/Q_n – споживана потужність і подача у відносних одиницях

При роботі в енергоефективному режимі заощаджується не тільки електроенергія й ресурс устаткування, але й залежно від функції об'єкту автоматизації – вода, теплота. Збільшення ресурсу роботи електродвигуна при цьому способі регулювання прямо пов'язане з ресурсом підшипників, що визначається радіальними й осьовими навантаженнями і частотою обертання. У загальному випадку можна зневажити тим фактом, що при зниженні частоти енергетична складова вібрації зменшується пропорційно квадрату і в розрахунок ресурсу підшипників урахувати тільки зменшення швидкості обертання.

Саме завдяки регулюванню швидкості, у середньому в 2,5-3 рази вдається збільшити міжремонтні інтервали насоса й електродвигуна.

Що стосується систем автоматичного регулювання насосів, то найчастіше частотний перетворювач встановлюється у насосні установки під час модернізації існуючих об'єктів – коли користувач має намір зберегти або частково модифікувати технологічну частину, тобто змінити тільки спосіб управління. При одинарних насосних групах для реалізації системи автоматичного регулювання використовуються довільні прості регулятори або вхідний регулятор частотного перетворювача. Однак у багатьох випадках застосовується більш складний принцип регулювання, при якому регулювальне обладнання забезпечує при заданому тиску безперервність технологічного процесу та однакову тривалість роботи окремих насосних груп, а також виконує пріоритетні функції (захист, обмеження та технологічне блокування), здійснює керування під час аварійних ситуацій або підтримує залежність заданого тиску від миттєвої величини витрат та ін.

Однак зустрічаються і приклади катастрофічного недовикористання обладнання (рис. 5а). У цьому випадку регулювання частоти обертання насоса за допомогою перетворювача частоти не приносить необхідного ефекту управління, при цьому ККД насоса становить близько 10-20 % при можливих 65 % і більше.

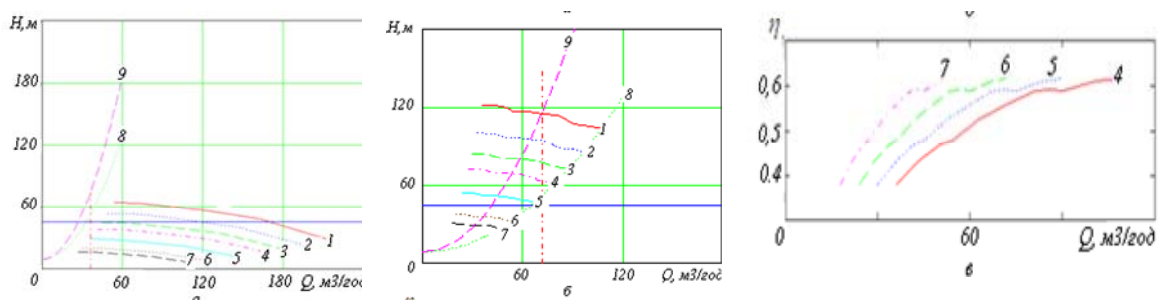


Рис. 5. Характеристики насосів при зміні частоти обертання: а - характеристика $H(Q)$ при суттєвому недовикористанні насосу; б - характеристика $H(Q)$ при задовільному використанні насосу; в - характеристики $\eta(Q)$. 1,2,...,7 - характеристики насоса $H(Q)$, $\eta(Q)$ при зміні частоти обертання від n_1 до n_7 відповідно; 8,9 - характеристики системи при відкритій і закритій заслінці

Даний режим роботи насоса також небезпечний явищем кавітації, що може привести до збільшення швидкості зношування устаткування. У даному випадку необхідна модернізація насосної установки в цілому, з відповідною заміною приводу і насоса, що дозволить досягти максимального ККД установки при номінальному режимі роботи і при зміні технологічних параметрів роботи системи. Приклад задовільного частотного регулювання роботою насосного агрегату і системи в цілому наведено на рис. 5б.

У наведеному прикладі максимального значення ККД система - перетворювач частотний - асинхронний двигун - насос при відповідній навантажувальній характеристиці з показником подачі $70 \text{ м}^3/\text{год}$ досягається на п'ятому ступені регулювання - ККД=0,6, споживання потужності 7,4 кВт. При цьому напір дорівнює 48 м.

На основі викладеного, можливо заключити, що вкрай незадовільний рівень використання можливостей регулювання силових електроприводів призводить до підвищеного енергоспоживання і знижує конкурентоздатність вітчизняних виробництв.

Іншою характерною особливістю експлуатації вітчизняних енергосистем та всього парку енергетичного обладнання є підвищений рівень напруги на шинах підстанцій, а також відсут-

ність пуско-регулюючих пристроїв для великої групи установок, обладнаних синхронними та асинхронними двигунами. За результатами комплексного обстеження основних споживачів електроенергії ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» - турбомеханізмів, на предмет необхідності регулювання їх технологічних параметрів [4-8], встановлена доцільність впровадження пускових регулюючих пристроїв в димососах, вентиляторах, насосах, компресорах та іншому обладнанні та опрацьовані першочергові програми та алгоритми роботи регульованого електроприводу вентилятора правої методичної печі СПЦ-2, димососів конверторного цеху та іншого обладнання. У результаті використані в проектах та впроваджені в виробництві раціональні способи запуску турбомеханізмів з використанням пускових пристроїв, які захищені трьома авторськими свідоцтвами на винаходи [4-8]. Способи максимально реалізують можливості пускових пристроїв для групового пуску паралельно працюючих турбомеханізмів з врахуванням їх реального завантаження, що забезпечує мінімальну потужність пускових пристроїв [1, 4-8].

Для послідовного плавного регулювання технологічних параметрів турбомеханізмів опрацьовані раціональні системи регулювання, які забезпечують мінімізацію споживання електроенергії. Запропоновані інноваційні рішення захищені авторськими свідоцтвами на винаходи. Нові підходи до вирішення проблеми базуються на [4-8]:

експериментальних дослідженнях та статистичному аналізі завантаження синхронних, асинхронних двигунів та іншого електрообладнання за основними енергетичними показниками, з метою встановлення реального резерву по складовим потужності та компенсуючим якостям синхронних двигунів;

розробці схемотехнічних рішень по переходу до регульованого електроприводу змінного струму енергоємних пристроїв (турбомеханізмів, конвеєрів та ін.), з метою наближення їх показників електроспоживання до технологічно-необхідного рівня та забезпечення інваріантних за часом частот плавного пуску та зупинок;

мінімізації реактивних складових потужності в вузлах безпосереднього живлення та управління груповими об'єктами технологічних ліній, за рахунок використання в силових мережах компенсуючих перетворюючих пристроїв та ефекту формування багатофазного (з боку живлячої мережі) режиму споживання;

оптимізації рівня живлячої напруги 6 та 10 кВ за рахунок варіації коефіцієнтів трансформації та активного управління параметрами компенсуючих пристроїв з елементами адаптації [4-8].

До 2000 року розрахунки підприємств з енергосистемою за реактивну потужність здійснювались по так званому «сальдовому» тарифу, при якому дозволялось генерувати реактивну потужність в мережу і підприємство розраховувалося з енергосистемою по різниці між спожитою та генерованою реактивною потужністю. За нинішніх умов, з введенням одноставочного тарифу диференційованого по зонах доби, за генерацію реактивної потужності підприємство саме розраховується з енергосистемою. По всім синхронним двигунам КДГМК «Криворіжсталь» (нині ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») до 2000 р. було встановлене збудження на максимум віддачі реактивної потужності в мережу. Це давало економічний ефект при впровадженні на працюючих установках, враховуючи відношення в вартості 1 кВт·год до 1 квар·год. електроенергії майже в 26 разів (на генерацію реактивної потужності необхідно витратити відповідну кількість активної потужності). Синхронні двигуни не були перевантажені по збудженню, так як це в основному машини серії СТД, які мають випереджуючий коефіцієнт потужності. Тільки проведення вказаних організаційно-технічних заходів на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» дозволило отримати зниження плати підприємства за спожиту реактивну потужність в середньому на 30-35 тис. дол. США на місяць - у зимово-весняний період, та на 20-25 тис. доларів США - влітку-восени [4-8]. У наш час збудження синхронних двигунів виставлено на забезпечення «нуль - перетоку» на підстанціях, які мають розрахункові лічильники. Зниження плати за реактивну потужність на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у порівнянні з базовим варіантом складає 15-20 %. Базовою підстанцією при проведенні експериментальних робіт по груповому регулюванню перетоків реактивної потужності була КРЗ-16біс компресорного цеху №2 - відносно нова підстанція, яка обладнана двома регульованими під навантаженням живлячими трансформаторами та має 6 синхронних двигунів СТД 10000-2У4 одиничною потужністю 10 МВт. Як результат, опрацьовано та впроваджено універсальний мікропроцесорний пристрій регулювання токів збудження. Розподіл реактивної потужності на регульовані синхронні двигуни здійснюється з умови забезпечення однакового навантаження двигунів до повної потуж-

ності. По розробкам пристроїв та способів регулювання реактивної потужності отримано 2 Патенти України на винаходи [4-8].

Ефективність розроблених технічних рішень може бути проілюстрована на прикладі найбільш енергоємних турбомеханізмів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – насосних установок цеху водозабезпечення, на долю яких в балансі енергоспоживання комбінату приходиться приблизно від 2 до 12 % активної потужності що споживається, та від 7 до 9 % реактивної. В нинішній час, в умовах різких змін у роботі споживачів води, установки експлуатуються нераціонально. Аналіз витрат електроенергії на помпових установках дозволив встановити, що витрати електроенергії на перекачку 1 м³ води (питомі витрати) для однієї помпової станції не є сталою величиною і можуть відрізнятись більш як у два рази. Так, на помповій станції №7 така величина становить 0,284-0,665 кВт/м³ (середнє значення – 0,317 кВт/м³). Витрати води на 1 т готового прокату змінюються в 1,5-2 рази. Це обумовлено тим, що при регулюванні pomp за допомогою засувки об'єм води, що перекачується, зменшується на 30-50 % практично при тих-же витратах електричної енергії. Окрім того, при аналізі показників питомих витрат електроенергії встановлено, що більш високі питомі витрати мають помпи з більшим ступенем зносу. На помпових станціях експлуатуються помпи, кількість відпрацьованого часу яких становить від 126 до 65509 год. Аналіз статистичних даних показує, що при використанні pomp, ресурс роботи яких на порядок вище, витрати електроенергії зростають на 5-7 %, що зумовлює необхідність розробки та використання пристроїв, які дозволяють контролювати ступінь зношеності pomp. В цьому разі економію електричної енергії (до 12 %) може забезпечити експлуатація в напружені періоди роботи pomp з мінімальною зношеністю. Розроблені також системи, які забезпечують раціональні режими запуску та регулювання з контролем зони помпажу. Економічна ефективність від впровадження схем регулювання: витрати електроенергії зменшуються на 25-30 %, термін окупності систем становить 0,8-1,2 роки [4-8,9].

Висновки і шляхи подальших досліджень. На основі викладеного можливо заключити, що вкрай незадовільний рівень використання можливостей регулювання силових електроприводів турбомеханізмів призводить до підвищеного енергоспоживання і знижує конкурентоздатність вітчизняних виробництв. Регулювання реактивної потужності засобами синхронних приводів дозволяє за нинішніх економічних умов значно підвищити ефективність використання енергообладнання виробництв Кривбасу. Спільне використання сучасних схем регулювання витрат електроенергії силових електроприводів дозволяє підвищити конкурентоздатність продукції гірничо-металургійного комплексу. Найвищий науково-технічний потенціал вітчизняних розробок у галузі енергозбереження цілком достатній для забезпечення прогресу в галузі.

Список літератури

1. **Щербина О.** Проблеми економії енергоресурсів в Україні. //Щербина О. // Ринок інсталяцій, травень, 2002, С. 7-8.
2. Кривой Рог переходит на режим экономии - Кривой Рог сетевое обозрение - Глобус Кривого Рога: http://www.krivoy-rog.com/index.php?option=com_content&task=view&id=130347
3. Офіційний сайт Виконкому Центрально-Міської районної у місті ради: http://cmv.org.ua/zvit_stej_100216_2/
4. **Білянський А.М.** Актуальні проблеми енергозбереження в житловокомунальному господарстві України. / Тези на міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність 2002». – Київ: Навчальна книга, 2002, С. 41-42.
5. **Озерянский А.А., Билык А.А.** Повышение точности определения технологических потерь электроэнергии в электрических сетях// Тезисы докладов на международной научно-технической конференции «Энергоэффективность-2002». – Киев: Навчальна книга, 2002, С. 119-120.
6. **Осадчук Ю. Г.** Концепция подхода к ресурсо-энергосбережению горно-металлургического комплекса. / Осадчук Ю. Г. //В кн. Разработка рудных месторождений. //Научно-технический сборник. -Кривой Рог: КТУ, 2002, №78, С.95-100.
7. **Синолицый А.Ф.** Повышение энергетической эффективности систем группового питания и управления турбомеханизмами. / **Синолицый А.Ф., Осадчук Ю.Г., Кольсун В.А.** //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.-2003., №2, т.1., С. 120-125.
8. **Осадчук Ю.Г.**Повышение энергетических и эксплуатационных характеристик энергоёмких установок - турбомеханизмов горно-металлургического комплекса. - В кн. Горная электромеханика и автоматика. / Осадчук Ю.Г.// Труды Международной научно-технической конференции. – Донецк, 2003, т.2., С.146-151.
9. **Праховник А.В.** Энергетичний менеджмент. / Праховник А.В., Розен В.П., Розумовський О.В. //Навчальний посібник, та ін. -К., ІБЕ НТТУ «КПІ»,1999, с. 184.
10. **Малюшенко В.В.** Энергетичні насоси / Малюшенко В.В., Михайлов А.К. // Довідниковий посібник. – М: Енергоіздат. – 1981. – 200 с.
11. Каталог продукції фірми DAB: <http://www.dabpumps.com/>.
12. Каталог продукції фірми SPERONI: <http://www.speroni.it/public/ru/>.

Рукопис подано до редакції 02.02.12