

© А.В. Рухлов¹, Н.Ю. Рухлова², М.С. Кириченко²

¹ ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка», Запоріжжя, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ПРОФІЛІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ГОЛОВНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

© A. Rukhlov¹, N. Rukhlova², M. Kyrychenko²

¹ LLC "Technical University "Metinvest Polytechnic", Zaporizhzhya, Ukraine

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

POWER CONSUMPTION PROFILES OF THE MAIN FANS AT COAL MINES

Мета. Визначити основні показники профілів електроспоживання вентиляторів головного провітрювання вугільних шахт за умови регулювання їх продуктивності за допомогою систем керованого електроприводу на базі напівпровідникових елементів.

Методика. Використані методи дослідження операцій для аналізу технологічних процесів в частині відповідності фактичних профілів електроспоживання головних вентиляторів їх очікуваним режимам роботи. Застосовані методи математичної статистики для визначення статистичних параметрів графіків електричних навантажень вентиляторів головного провітрювання вугільних шахт.

Результати. Виконано статистичний аналіз типових профілів електроспоживання головних вентиляторів вугільних шахт з різними системами електроприводу: синхронний двигун з високовольтним перетворювачем частоти, асинхронний двигун за системою асинхронно-тиристорного каскаду та синхронний двигун з "класичним" керуванням збудженням ротора без напівпровідникових елементів. Підтверджена доцільність застосування систем регульованого електроприводу для регулювання продуктивності вентиляторів головного провітрювання з точки зору зменшення споживання активної електроенергії. Однак водночас показане споживання значного обсягу реактивної потужності, властиве системам на базі напівпровідникових елементів незалежно від типу двигуна (синхронний або асинхронний).

Наукова новизна. Завдяки статистичному аналізу фактичних добових профілів електроспоживання головних вентиляторів вугільних шахт із різними системами керованого електроприводу встановлено, що середньоквадратичне відхилення активного навантаження не перевищує 1% від номінальної потужності приводного електродвигуна та не залежить від його типу (синхронний чи асинхронний).

Практична значимість. Практична цінність роботи полягає у визначенні фактичних показників споживання системами регульованого електроприводу на базі напівпровідникових елементів саме реактивної потужності. При цьому показаний її значний рівень, який має бути забезпечений відповідними фільтрокомпенсуючими пристроями на шинах живлення двигунів вентиляторів головного провітрювання шахт.

Ключові слова: профіль електроспоживання, вентилятор головного провітрювання, графіки електричних навантажень; регулювання електроспоживання; вугільна шахта, споживана потужність.

Вступ. Шахтні вентиляторні установки належать до установок безперервної дії, які працюють у тривалому режимі з малою кількістю пусків і зупинок. Особливістю влаштування вентиляторів головного провітрювання (ВГП) є необхідність забезпечення повного технологічного резерву, тобто на шахті мають бути встановлені дві ідентичні вентиляторні установки, які працюють по черзі. Тривалість роботи залежить від умов конкретної шахти і становить, як правило, один місяць.

Фактичний режим роботи ВГП визначається його робочою точкою, яка характеризується основними технічними параметрами вентилятора: продуктивністю, тиском (депресією за всмоктувальної схеми вентиляції) і коефіцієнтом корисної дії (ККД). Будь-яка суттєва зміна схеми вентиляції, перерізу і довжини провітрюваних виробок, використання вентиляційних дверей і навіть рух скіпа в головному стовбурі назустріч або попутно повітряному потоку призводить до зміщення робочої точки та зміни режиму роботи ВГП і, як наслідок, до нових значень усіх технічних та енергетичних параметрів. Однак протягом доби такі зміни несуттєві, і вентиляторні установки, обладнані застарілим неефективним електроприводом, практично не реагують на них. Водночас за умови використання сучасних систем регульованого електроприводу на базі напівпровідникових перетворювачів (НП) режим роботи ВГП може змінюватися істотно. Така сама ситуація характерна і в разі суттєвих змін у схемі вентиляції (наприклад, відкриття нового робочого горизонту), кількості очисних вибоїв, які розробляють, коливань метанообільності та інших чинників.

Аналізу режимів електроспоживання та їх ефективності загалом для вугільних шахт та її окремих технологічних процесів присвячені певні цикли наукових робіт. Так, у роботі [1] розглядається багатофакторне прогнозування електроспоживання вугільної шахти за допомогою нейронної мережі в розрізі річного інтервалу часу. Роботи [2, 3] присвячені обґрунтуванню та розробці багаторівневої інтелектуальної системи керування електроспоживанням стаціонарних установок гірничо-збагачувальних комбінатів та рудних шахт.

Питання електромагнітної сумісності та якості електроенергії в електричних мережах гірничовидобувних підприємств розглядаються у роботах [4, 5]. Можливі заходи щодо підвищення ефективності електроспоживання головної водовідливної установки вугільної шахти запропоновані у роботах [6, 7]. Безпосередньо фактичні режими електроспоживання головних та допоміжних підйомних установок шахти всебічно аналізуються у роботах [8, 9]. Однак, як бачимо, енергетичним параметрам роботи вентилятора головного провітрювання як одного з найпотужніших споживачів вугільної шахти у наукових публікаціях не приділено достатньої уваги.

Основна частина. Профілі електроспоживання технологічних установок вугільної шахти відповідають, в основному, змінному або добовому часовому інтервалу. На рис. 1 наведені фактичні добові графіки електричних навантажень (ГЕН) двох різних ВГП вугільних шахт з системами регульованого електропривода на базі перетворювача частоти синхронного високовольтного (ПЧСВ) із синхронними двигунами (СД) номінальною потужністю 3200 і 1250 кВт. Як

бачимо, перший вентилятор працює із завантаженням $\approx 80-85\%$, а другий – $\approx 50\%$, що свідчить про "глибоке" регулювання його технологічних параметрів.

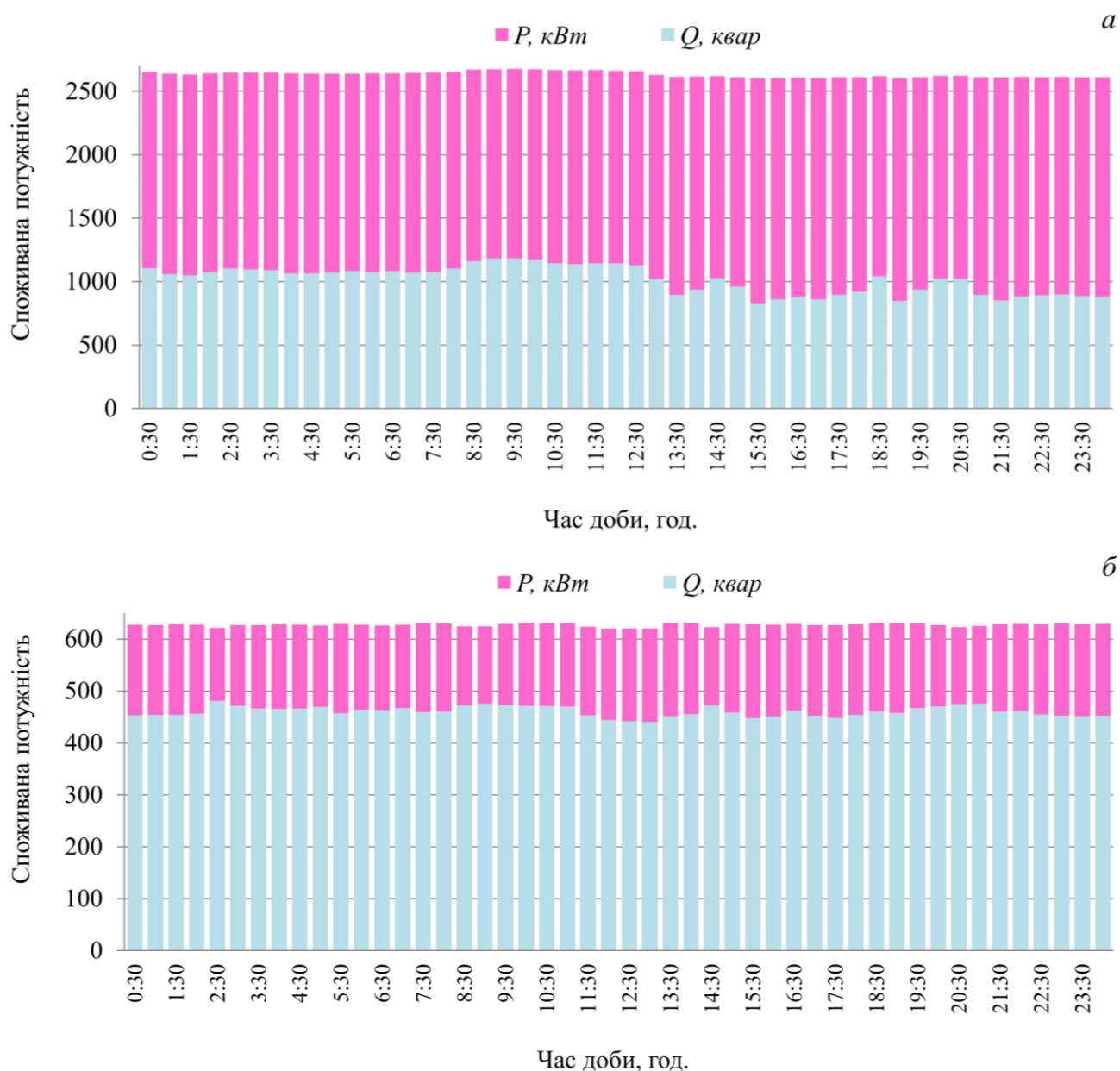


Рис. 1. Фактичні добові профілі електроспоживання ВГП з системою ПЧСВ та синхронними двигунами потужністю 3200 кВт (а) і 1250 кВт (б)

На рис. 2 наведений фактичний добовий профіль електроспоживання ВГП з системою регульованого електропривода на базі асинхронно-тиристорного каскаду (АТК) із асинхронним двигуном (АД) номінальною потужністю 3800 кВт. Особливістю такої системи є необхідність підключення до мережі 6 кВ окремо ротора та статора двигуна, а також можливість генерації енергії в мережу через роторне коло під час рухомого та гальмівного режимів роботи. Тому на рис. 2 представлені діаграми активної та реактивної потужностей окремо для статора і ротора двигуна. Варто відзначити досить велике значення генерованої через роторне коло і трансформатор АТК активної потужності, яка становить близько

350-380 кВт за номінальної потужності двигуна 3800 кВт. Ця величина визначається в основному його відносно малим завантаженням (0,55-0,6 від номінального) і, відповідно, "глибоким" поточним регулюванням технологічних параметрів вентиляторної установки, спричиненими вибором ВГП "із запасом" на подальше підвищення продуктивності шахти й відповідний розвиток гірничих робіт, тобто збільшення протяжності підземних виробок.

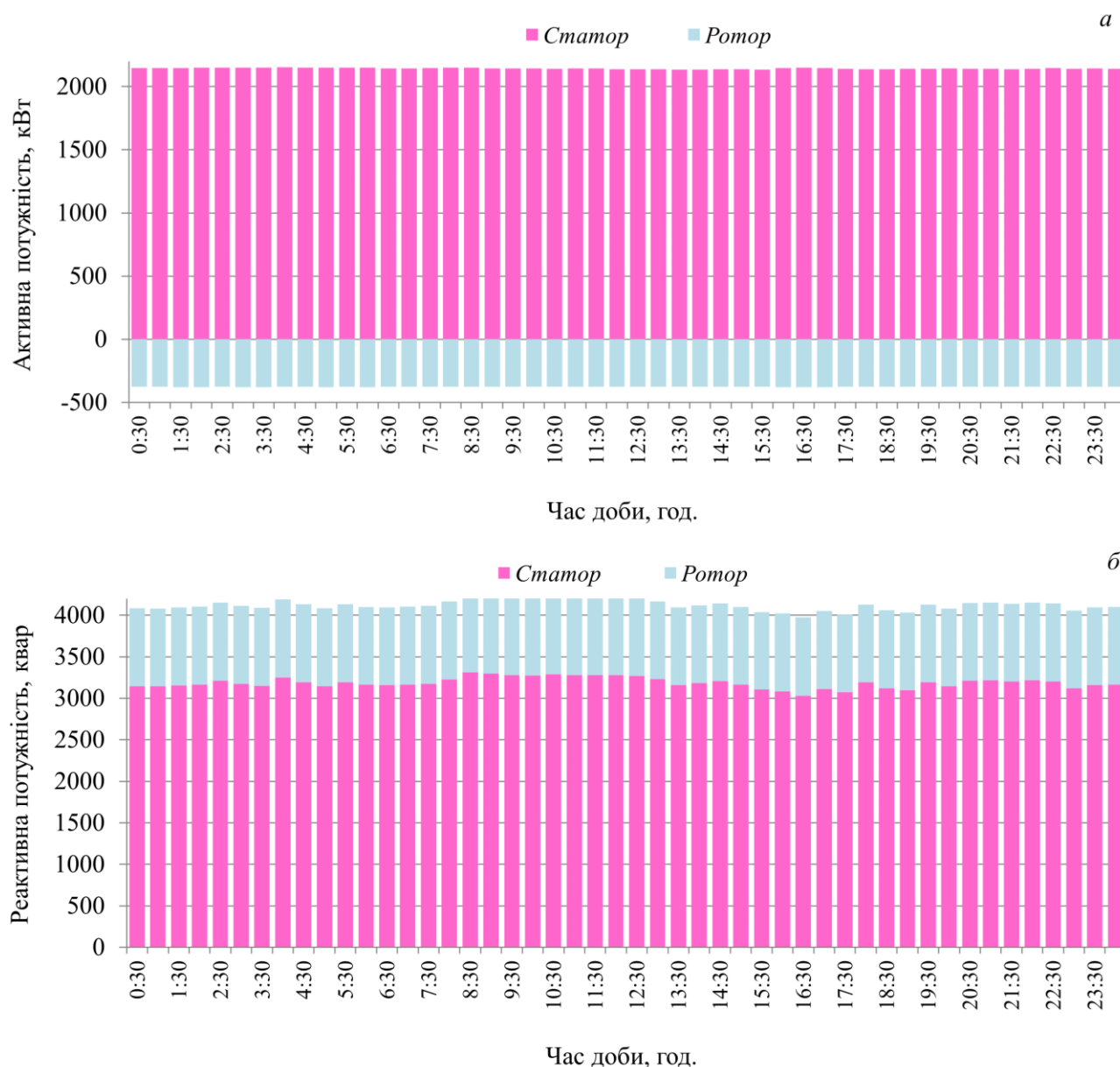


Рис. 2. Фактичні добові профілі електроспоживання ВГП з системою АТК та АД потужністю 3800 кВт для активної (а) і реактивної (б) потужностей

У табл. 1 наведені усереднені параметри профілів електроспоживання вентиляторних установок, що визначені для вибірок з кількістю реалізацій: ВГП з ПЧСВ та двигуном 3200 кВт – 7 реалізацій, ВГП з ПЧСВ 1250 кВт – 24, ВГП з АТК 3800 кВт – 21 реалізація.

Дані рис. 1 і 2, а також табл., свідчать про значну рівномірність профілів електроспоживання ВГП незалежно від системи електроприводу, особливо за активною потужністю (коефіцієнт форми k_f лише в четвертому або п'ятому знаку після коми перевищує одиницю). Такий стабільний режим електроспоживання визначається практично рівномірним за завантаженням протягом доби режимом роботи вентиляторної установки (відносне значення середньоквадратичного відхилення не перевищує 1%). Важливою особливістю режиму електроспоживання ВГП із системою ПЧСВ є відносно високе значення коефіцієнта потужності на рівні 0,8–0,95, що пояснюється технічними особливостями і принципом роботи СД. При чому більше значення характерне для вентиляторної установки з меншою глибиною регулювання технологічних параметрів, менше – для "глибокого" регулювання. Однак абсолютні величини споживання реактивної потужності достатньо великі та складають 460 і 1000 квар для двигунів номінальною потужністю 1250 і 3200 кВт відповідно. Для системи АТК ситуація із реактивним навантаженням значно гірша: середнє значення $\cos\varphi = 0,4$ (у середньому 0,4), а споживання реактивної потужності перевищує 4 Мвар. Це пояснюється "природою" АД та великим поточним діапазоном регулювання технологічних параметрів ВГП, який забезпечує система АТК.

Таблиця

Усереднені значення параметрів фактичних добових профілів електроспоживання ВГП

Параметр	Позначення	Величина параметру для		
		ВГП з ПЧСВ 3200 кВт	ВГП з ПЧСВ 1250 кВт	ВГП з АТК 3800 кВт
Витрата електроенергії: активної, кВт·год	W_P	63100	15020	42420
реактивної, квар·год	W_Q	24400	11050	98980
Математичне сподівання потужності: активної, кВт	P_c^*	2630 (82,2)	627 (50,2)	1770 (46,6)
реактивної, квар	Q_c	1020	461	4120
Середньоквадратична потужність: активна, кВт	$P_{ск}$	2631	628	1771
реактивна, квар	$Q_{ск}$	1024	465	4125
Дисперсія потужності: активної, кВт ²	DP	525	9	17
реактивної, квар ²	DQ	11850	95	3970
Середньоквадратичне відхилення: активної, кВт (%)	σP^*	23 (0,7)	3 (0,2)	4(0,1)
реактивної, квар	σQ	109	10	63
Коефіцієнт форми	k_f	1,0004	1,00001	1,0006
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,93	0,81	0,4

* У дужках вказані значення у відсотках від номінальної потужності двигуна

Висновки. Фактичні режими електроспоживання ВГП із системами регульованого електроприводу на базі синхронних і асинхронних двигунів

характеризуються значною рівномірністю ($\kappa_{\phi} \approx 1,0$). Така майже постійна величина споживаної активної потужності на графіках електричних навантажень визначається практично рівномірним за завантаженням режимом роботи вентилятора протягом доби (відносно значення середньоквадратичного відхилення активної потужності від номінальної не перевищує 1%).

Фактичні середні значення коефіцієнта потужності для добових профілів електроспоживання ВГП складають 0,75–0,95 для систем електроприводу на базі СД і тільки 0,4–0,5 – для АД. Основною причиною такого значного реактивного навантаження є використання різного роду напівпровідникових перетворювачів для регулювання технологічних параметрів вентиляторів. Безумовно, для підвищення енергоефективності системи електропостачання шахти споживана двигуном реактивна потужність (враховуючи її значну абсолютну величину) має бути скомпенсована за допомогою відповідних фільтрокомпенсувальних пристроїв. Фільтруючий компонент таких систем покращить проблеми із якістю електроенергії, які також мають місце при застосування високовольтних напівпровідникових перетворювачів.

Перелік посилань

1. Добровольська, Л.Н., Волинець, В.І., & Бандура, І.О. (2014). Багатофакторне прогнозування споживання електротехнічних комплексів вугільних шахт для планування їхніх енергоефективних режимів. *Наукові праці ВНТУ*, 2, 1–9.
2. Хорольський, В.П., & Шпанько, М.І. (2015). Інтелектуальна система управління електроспоживанням стаціонарних установок шахт. *Вісник Хмельницького національного університету*, 4, 173–179.
3. Хорольський, В.П., Хорольський, Д.В., Тігоренко, К.Г. (2015). Багаторівнева інтелектуальна система оптимізації електроспоживання гірничо-збагачувальних підприємств. *Вісник Хмельницького національного університету*, 2, 192–198.
4. Папаїка, Ю.А. Жежеленко, І.В., Лисенко, О.Г., Родна, К.С. (2019). Застосування індивідуальних графіків вищих гармонік в задачах електромагнітної сумісності та енергоефективності гірничих підприємств. *Гірнича електромеханіка та автоматика*, 101, 3–7.
5. Papaika, Yu.A., Pivnyak, G.G., Zhezhenko, I.V., Lisenko, A.G. (2017). Intergarmoniki v sistemakh elektrosnabzheniya. *Науковий вісник НГУ*, 6, 109–114.
6. Razumnyi, Yu.T., Rukhlova, N.Yu., Rukhlov, A.V. (2015). Energy efficient work of a coal mine dewatering plant. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 74–79. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2015_2_13
7. Rukhlova, N.Yu., Lutsenko, I.M., & Rukhlov, A.V. (2021). An effective way to maintain the liquidated mines. In *4nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”*, (pp. 73–75). Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing.
8. Rukhlov, A.V., & Mishanskii, Yu.A. (2013). Analiz fakticheskikh rezhimov elektropotrebleniya podemnikh ustanovok ugolnikh shakht. *Гірнича електромеханіка та автоматика*, 90, 22–26.
9. Разумный, Ю.Т., Рухлов, А.В., & Крамаренко, С.А. (2014). Energeticheskie pokazateli sovremennikh ugolnikh podemnikh ustanovok shakht. *Гірнича електромеханіка та автоматика*, 92, 48–53.

ABSTRACT

Purpose. To determine the main indicators of the power consumption profiles of the main ventilation fans of coal mines under the condition of regulating their performance using controlled electric drive systems based on semiconductor elements.

The methods. The methods of operations research were used to analyse technological processes in terms of compliance of the actual power consumption profiles of the main fans with their expected operating modes. The methods of mathematical statistics were used to determine the statistical parameters of the electrical loading diagrams of the main ventilation fans of coal mines.

Findings. A statistical analysis of typical power consumption profiles of the main fans of coal mines with different electric drive systems has been carried out: a synchronous motor with a high-voltage frequency converter, an induction motor based on the asynchronous-thyristor cascade system, and a synchronous motor with 'classical' rotor excitation control without semiconductor elements. The feasibility of using adjustable electric drive systems to control the performance of main ventilation fans in terms of reducing active power consumption has been confirmed. However, at the same time, the consumption of a significant amount of reactive power is shown, which is inherent for systems based on semiconductor elements, regardless of the motor type (synchronous or asynchronous).

Originality. The statistical analysis of the actual daily power consumption profiles of the main fans of coal mines with different controlled electric drive systems has shown that the standard deviation of the active load does not exceed 1% of the rated power of the drive motor and does not depend on its type (synchronous or asynchronous).

Practical implementation. The practical value of the work is in determining the actual consumption of reactive power by the systems of controlled electric drive based on semiconductor elements. It shows its significant level, which should be provided by appropriate filter-compensating devices on the power supply buses of the motors of the main ventilation fans.

Keywords: *power consumption profile, main ventilation fan, electrical loading diagrams, power consumption regulation, coal mine, reactive power.*