

УДК 621.311

М. М. Чепурний, к. т. н., доц.; С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.

АНАЛІЗ РОБОТИ ПРОТИТИСКОВИХ ТУРБІН НА ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЯХ

Наведено результати аналізу ефективності роботи паротурбінних установок з протитисковими турбінами, працюючими зі змінними навантаженнями

Вступ

Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії є перспективною технологією, яка значною мірою дозволяє вирішувати задачі енергозбереження і знайшла відображення на законодавчому рівні [1, 2]. Крім того, ця технологія є одним із небагатьох способів зменшення викидів парникового газу, оксидів азоту і сірки. Саме тому вона визнана головним пріоритетним напрямом розвитку енергетики України. За даними Міжнародного енергетичного агентства виробництво електроенергії на теплоелектроцентралях (ТЕЦ) України складає лише 8 % від її загального виробництва, що в 5...8 разів менше, ніж в країнах Східної та Західної Європи. Не дивлячись на значний прогрес у розвитку ТЕЦ в Україні, централізоване тепlopостачання великої кількості споживачів здійснюється не від ТЕЦ, а від котелень.

Цілком зрозуміло, що нормальна робота ТЕЦ може бути забезпечена за наявності постійних теплових навантажень. Однак тепер склалась ситуація, коли внаслідок спаду виробництва та зменшення споживання технологічної пари, на промислових ТЕЦ неможливо виробляти проектні електричні потужності. До складу великої кількості промислових підприємств входять ТЕЦ, які оснащені протитисковими турбінами. Такі паротурбінні установки (ПТУ) не розраховані на автономний режим роботи, оскільки виробництво електроенергії в них здійснюється на базі відпуску теплової енергії. Зазначене призводить до зменшення виробництва електроенергії на тепловому постачанні, що суттєво впливає на ефективність роботи ПТУ. На теперішній час більшість промислових ТЕЦ працює з недовантаженими протитисковими турбінами, що призводить як до зменшення виробництва електроенергії, так і до неефективного використання палива, оскільки зі зменшенням навантаження зменшується коефіцієнт корисної дії (ККД) основного і допоміжного устаткування ПТУ. Зазначимо також, що зменшення виробництва електроенергії на ТЕЦ збільшує дефіцит маневрених потужностей в енергосистемі та ускладнює її роботу в пікових режимах. На жаль, оцінка ефективності роботи ПТУ з протитисковими турбінами зі змінними навантаженнями практично відсутня.

Зважаючи на вищевикладене, була поставлена задача дати кількісну оцінку ефективності роботи ПТУ з протитисковими турбінами, які працюють в режимі неповного завантаження.

Основні результати

Найпростішим показником ефективності роботи саме турбогенератора ПТУ є питома витрата пари на виробництво електроенергії d_0 , кг/(кВт·год). Цей показник має цілком певне значення для кожного турбогенератора, який працює з номінальним електричним навантаженням і номінальним протитиском (тиском пари за турбіною). На рис. 1 наведені значення d_0 для турбогенераторів з різною електричною потужністю N , МВт і різним протитиском P , МПа.

Із рис. 1 видно, що залежності $d_0 = f(P)$ ідентичні для всього класу протитискових турбін. Для турбогенераторів потужністю менше 4 МВт значення d_0

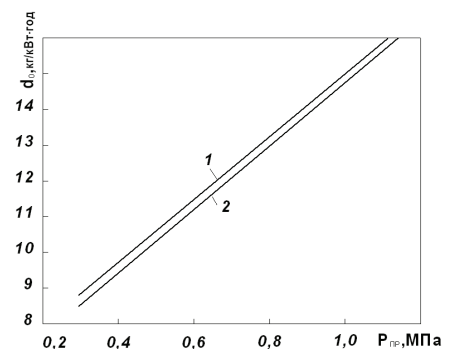


Рис. 1. Зміна питомої пари на турбіні для номінального завантаження в залежності від тиску за турбіною: 1 – $N \leq 4$ МВт; 2 – $N \geq 4$ МВт

трохи більше ніж для турбогенераторів більш високої потужності. Це пояснюється незначним зменшенням внутрішнього коефіцієнта корисної дії (ККД) в турбінах малої потужності внаслідок деяких конструктивних відмінностей. Однаковий характер цих залежностей дозволяє передбачати, що інші показники ефективності роботи також будуть змінюватись ідентично.

Однак показник d_0 не може характеризувати ефективність роботи ПТУ в цілому, оскільки остання залежить від ефективності роботи парогенератора і допоміжного устаткування, які, як відомо, зменшуються зі зменшенням навантаження. В [3] зазначалось, що ефективність роботи ТЕЦ об'єктивно залежить від співвідношення електричного і теплового завантаження ПТУ, тобто від частки виробництва електроенергії на тепловому постачанні $\varepsilon = N/Q$. В [4] показано, що коефіцієнт ε не може однозначно оцінювати ефективність роботи ПТУ. Іншим показником ефективності роботи є відношення виробленої теплової потужності до потужності спаленого палива $Q_{\text{п}}$, тобто коефіцієнт $\alpha_T = Q/Q_{\text{п}}$. І в [3], і в [4] наголошується, що сучасні методики визначення ефективності та форми звітності залишаються старими та громіздкими. Вони враховують не тільки витрати палива, але й витрати електроенергії та теплоти на власні потреби. Це призводить до того, що однакові теплоенергетичні установки працюють з різними показниками ефективності, які залежать не тільки від термодинамічної ефективності, а також від умов експлуатації та господарської діяльності. Не виправдовує себе і методика визначення питомих витрат палива за видами енергопродукції, оскільки за умови їх сумісного виробництва в єдиній теплоенергетичній установці на можна чітко визначити яка частка палива витрачена на виробництво електроенергії, а яка — на виробництво теплоти. Тому об'єктивним показником паливної ефективності ПТУ і ТЕЦ має бути питома витрата умовного палива на спільно вироблену енергію, тобто $b = B/(N + Q)$, де B — витрата умовного палива, яке спалюється в парогенераторі ПТУ.

Зрозуміло, що всі зазначені показники ефективності роботи ПТУ зв'язані між собою [4] і залежать як від завантаження турбіни, так і від величини протитиску. Досліджувалась робота ПТУ з протитисковими турбінами, які найбільш поширені на промислових ТЕЦ і працюють з початковим тиском 3,5 МПа і початковою температурою 435 °С.

На рис. 2 показані закономірності зміни β , α_T і ε від номінального протитиску. Тут $\varepsilon = N_i/N_{\text{ном}}$; N_i , $N_{\text{ном}}$ — поточна і номінальна потужність турбогенератора, відповідно; $\beta = b_i/b_{\text{ном}}$; b_i , $b_{\text{ном}}$ відповідні до навантажень питомі витрати умовного палива, кг/МДж. Мінімальною часткою навантаження вибрана величина $\varepsilon = 0,3$, яка відповідає мінімально допустимому навантаженню парогенератора.

Залежності, що наведені на рис. 2 свідчать про значний вплив завантаження турбогенератора на ефективність роботи ПТУ. Зі зменшенням ε суттєво (до 37 %) зростає питома витрата умовного палива на сумісне виробництво теплоти та електроенергії. Оптимальними режимами завантаження слід вважати режими роботи в діапазоні $0,75 < \varepsilon < 0,9$, це пояснюється суттєвим впливом ККД парогенератора, оптимальні значення якого перебувають саме в цих межах. Зі збільшенням ε зростають коефіцієнти α_T і ε , що свідчить про те, що вони дійсно є характеристиками ефективності роботи ПТУ. Із рис. 2 також наочно видно, що більш суттєвий вплив на ефективність роботи ПТУ справляє саме коефіцієнт ε .

Вплив зміни протитиску на ефективність роботи ПТУ за умови її номінального навантаження показано на рис. 3, де $\alpha_p = P_i/P_{\text{ном}}$ — коефіцієнт зміни протитиску. Межі зміни α_p визначались за паспортними даними турбін в діапазоні дозволеного регулювання протитиску. Залежність $\beta = f(\alpha_p)$ свідчить про значно менший вплив α_p на ефективність роботи ПТУ, ніж вплив коефіцієнта завантаження ε . Зі збільшенням α_p відносна питома витрата умовного

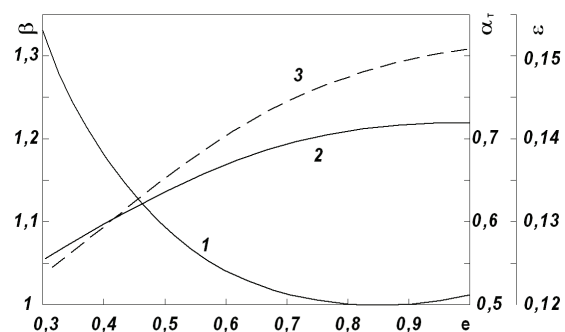


Рис. 2. Значення β , α_T і ε від частки завантаження турбогенератора ПТУ: 1 — $\beta = f(\varepsilon)$; 2 — $\alpha_T = f_1(\varepsilon)$; 3 — $\varepsilon = f_2(\varepsilon)$

палива зростає. Це пояснюється зменшенням робочого теплоперепаду (корисної роботи) в турбіні та, відповідно, збільшенням витрати пари на турбіну (див. рис. 1). Зі збільшенням α_p зменшуються значення коефіцієнта ε . Що стосується коефіцієнта α_T , то в зазначеному діапазоні зміни α_p він змінюється від 0,696 до 0,705 і його можна вважати сталим.

На підставі результатів, наведених на рис. 2 і 3 можна вважати, що найбільш повним індикатором ефективності роботи ПТУ є коефіцієнт виробництва електроенергії на тепловому постачанні ε . Для прикладу на рис. 4 наведено залежності питомої витрати умовного палива b , кг/МДж для ПТУ з турбіною Р-6-35/6, електрична потужність якої 6 МВт, а величина протитиску 0,6 МПа за умови її роботи в різних режимах.

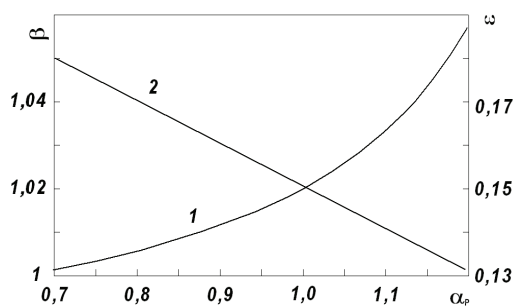


Рис. 3. Залежності за умови номінального завантаження турбогенератора: 1 — $\beta = f(\alpha_p)$;
2 — $\varepsilon = f_1(\alpha_p)$

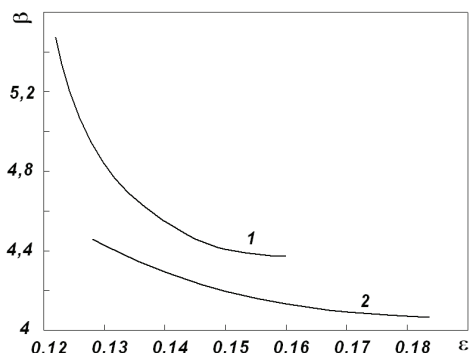


Рис. 4. Зміна питомої витрати умовного палива на ПТУ з турбіною Р-6-35/6: 1 — $\alpha_D = 1$, $e = \text{var}$;
2 — $e = 1$; $\alpha_p = \text{var}$

Із рис. 4 наочно видно, що робота ПТУ більш економічна за умови номінального навантаження турбогенератора ($e = 1$). Зміна протитиску впливає тим менше, чим більші значення ε . Робота з неповним завантаженням характеризується суттєвим збільшенням питомої витрати умовного палива на сумісне виробництво енергії. Як зазначалось раніше, коефіцієнт ε може вважатись основним індикатором ефективності роботи ПТУ з протитисковими турбінами.

Висновки

Паливна ефективність роботи паротурбінної установки однозначно характеризується питомою витратою умовного палива на сумісне виробництво теплової та електричної енергії.

Недовантаження протитискових турбін призводить до суттєвого погіршення ефективності роботи ПТУ.

Зміна протитиску турбін в межах можливого регулювання впливає на ефективність роботи ПТУ значно менше, ніж недовантаження турбогенераторів.

Основним показником ефективності роботи ПТУ можна вважати величину виробництва електроенергії на тепловому постачанні.

Отримані результати є необхідною передумовою для застосування прибудованих турбін на ТЕЦ з протитисковими турбінами [5].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Закон України. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради. — 2005. — № 20. — С. 278—285.
- 2 Державна програма реконструкції теплових електростанцій України // ДНД ПВТУ «Енергоперспектива». — Київ, 2001. — 116 с.
- 3 Микулич Г. В. Опыт ОАО. Мосэнерго по повышению эффективности управления комбинированной выработкой энергии на ТЭЦ / Г. В. Микулич // Теплоэнергетика. — 2008. — № 7. — С. 65—72.
- 4 Чепурний М. М. Ефективність роботи паротурбінних і газотурбінних теплоелектроцентралей / М. М. Чепурний // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 1. — С. 36—40.
- 5 Применение привключенных турбин на ТЭЦ с противодавленческими турбинами М. Н. Чепурной, Е. В. Антроповой // Энергосбережение. — 2008. — № 12. — С. 13—16.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 21.05.09.
Рекомендована до друку 10.06.09

Чепурний Марко Миколайович — професор; **Ткаченко Станіслав Йосипович** — завідувач кафедри.

Кафедра теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет