

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИКИ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2019, 2(57): 46–52
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2019.02.046>

УДК 621.311

Л.О. КЕСОВА¹, д-р техн. наук, проф.,

В.С. КОБЕРНИК², В.В. ДУБРОВСЬКИЙ², канд. техн. наук, ст. наук. співр.

¹ НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,

² Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В ОЕС УКРАЇНИ

Проаналізовано технічний стан та характеристики роботи енергоблоків теплових електростанцій України. Оцінено вплив маневрових режимів роботи на додаткові витрати газу на ТЕС. Порівняно поточні викиди димових газів з технологічними нормативами допустимих викидів на окремих енергоблоках і ТЕС. Проаналізовано плани розвитку теплоенергетичних потужностей України щодо мінімізації негативних факторів у роботі теплових електростанцій.

Ключові слова: тепла електрична станція, енергоблок, технологічний стан ТЕС, викиди димових газів.

На сьогодні об'єднана енергосистема (ОЕС) України є одним з найбільших енергооб'єднань країн Європи. За даними «Укренерго» і Міністерства енергетики та вугільної промисловості України на кінець 2017 р. сумарна встановлена електрична потужність електростанцій України становила 51784,7 МВт, у тому числі теплових 30537,4 МВт (59%): ТЕС – 24565 МВт (47,5%), ТЕЦ і когенераційних установок – 4314 МВт (8,3%), блок-станцій – 1658,4 МВт (3,2%). Виробництво електроенергії тепловими електростанціями генеруючих компаній (ГК) в 2016 р. складало 49902 млн. кВт·год, в 2017 р. – 44960 млн. кВт·год (на 9,9% менше ніж у 2016 р.), в 2018 р. – 47792 млн. кВт·год (на 6,3% більше ніж у 2017 р.) [1, 2].

Основу ОЕС України складають пилувугільні енергоблоки потужністю (150–200) МВт (параметри пари 13 МПа, 545 °С) і пилувугільні та газомазутні енергоблоки потужністю 300 і 800 МВт (надкритичні параметри пари 24 МПа, 545 °С). В експлуатації знаходяться 14 ТЕС з 97 енергоблоками (150 МВт – 6 од., 200 МВт – 42 од., 300 МВт – 42 од., 800 МВт – 7 од.) та 3 потужних ТЕЦ (Харківська ТЕЦ-5, Київські ТЕЦ-5, ТЕЦ-6) з енергоблоками 100 та 250 МВт (5 од.). Електростанції

з енергоблоками 150 МВт введені в експлуатацію в (1959–1964) рр., 200 МВт – в (1960–1975) рр., 300 МВт – у (1963–1988) рр., 800 МВт – у (1967–1977) рр. За останній час реконструйовано лише 20% енергоблоків і питання приведення екологічних характеристик ТЕС до сучасних вимог не вирішені. Більшість блоків підтримується в робочому стані тільки за рахунок поточних і капітальних ремонтів, кількість та тривалість яких постійно збільшується.

З 14 ТЕС України 7 (Зуївська, Вуглегірська, Запорізька, Курахівська, Ладизинська, Добровірська, Бурштинська) спроектовано для спалювання вугілля «газової» групи марок: довгополуменеве (Д, ДГ) і газове (Г); 6 (Трипільська, Зміївська, Придніпровська, Старобешівська, Слов'янська, Луганська) – для спалювання антрациту (А); Криворізька – для пісного вугілля (П). Характеристики пилувугільних енергоблоків ТЕС станом на 01.01.2017 р. наведено в табл. 1 [1]. Стан обладнання енергоблоків ТЕС характеризується значним фізичним зношенням і є морально застарілим: понад 92% енергоблоків відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. год), 84% перетнули межу граничного ресурсу (200 тис. год) та потребують реконструкції або повної заміни.

© Л.О. КЕСОВА, В.С. КОБЕРНИК, В.В. ДУБРОВСЬКИЙ, 2019

Таблиця 1. Характеристики енергоблоків ТЕС України [1]

| ТЕС | Встановлена потужність, МВт | Роки введення в експлуатацію / останнього капремонт | Проектне вугілля марка | Кількість блоків та потужність, МВт | Турбіна (кількість, тип) |
|-----------------|------------------------------------|---|------------------------|-------------------------------------|--|
| Бурштинська | 2334 | 1965–1969/2010–2016 | Г | 12×200 | 12×К-200-130 |
| Вуглегірська | 3600 | 1972–1977/2008–2012 | Г, ДГ | 4×300 (+ 3 – мазут) | 4×К-300-240-2 |
| Добротвірська | 510 | 1960–1964/2010–2015 | Г | 2×150 | 2×К-160-130 |
| Запорізька | 3600 (2825; 800: консервація) | 1972–1977/1993–2014 | Г, ДГ | 4×300 (+ 3 – газ) | 1×К-325-23,5+ 3×К-300-240-2 |
| Зміївська | 2200 | 1960–1969/2007–2012 | А, П | 6×200+ 4×300 | 6×К-200-130+ 3×К-300-240+ 1×К-325-240 |
| Зуївська* | 1270 | 1982–1988/2005–2010 | Г, ДГ | 4×300 | 4×К-300-240 |
| Криворізька | 2820 (2328; 2×282: консервація) | 1964–1973/1992–2005 | П | 9×300 | 7×К-300-240-2+ 2×К-300-240 |
| Курахівська | 1527 | 1972–1975/2007–2015 | Г, ДГ | 7×210 | 1×К-200-130-3+ 6×К-210-130-3 |
| Ладижинська | 1800 | 1970–1971/2001–2011 | Г, ДГ | 6×300 | 6×К-300-240-2 |
| Луганська | 1325 (1220; 175: консервація) | 1956–1969/1996–2012 | А, П | 6×200 | 6×К-200-130 |
| Придніпровська | 1765 (1195, 2×285: консервація) | 1959–1966/1993–2013 | А, П | 4×150+ 3×300 | 4×К-160-130+ 2×К-300-240+ 1×К-310-23,5 |
| Слов'янська | 800 | 1955–1971/2015 | А | 1×800 | 1×К-800-240-2 |
| Старобешівська* | 2010 | 1961–1967/2003–2013 | А, П | 9×200+ 1×210 | 10×К-200-130 |
| Трипільська | 1800 | 1969–1972/2005–2011 | А, П | 4×300 (+3 газозамутні) | 4×К-300-240 |

*) ТЕС на тимчасово неконтрольованих територіях

Сучасний стан обладнання теплових електростанцій, що працюють в ОЕС України, призводить до зменшення робочої потужності та погіршення екологічних показників. Питомі витрати умовного палива (табл. 2) на найбільших ТЕС ГК (за даними Укренерго та Міністерства енергетики та вугільної промисловості України [1, 2]) у 2014–2018 рр. суттєво перевищують середній рівень їх у розвинутих країнах світу – (280–320) г у.п./ (кВт·год) [3].

Нестабільність питомих витрат умовного палива на ТЕС в період 2014–2018 рр. обумовлена суттєвими змінами в режимах їх роботи внаслідок виникнення дефіциту вугілля марки А, зменшення обсягу виробництва електроенергії, заміни антрациту вугіллям газових марок та їх сумішами. Крім того, зростання питомих витрат палива пояснюється низкою таких факторів, як зменшення середнього навантаження турбін;

використання енергоблоків ТЕС для покриття піків в енергосистемі (зростання питомих витрат на (2–3) г у.п./ (кВт·год)); зупинки енергоблоків через непередбачену відсутність вугілля ((5–6) г у.п./ (кВт·год) приросту) [4]. На економічність роботи енергоблоків ТЕС впливають також рівень експлуатації та кількість аварійних зупинок.

Слід зазначити, що більшість ТЕС України протягом останніх 50 років продовжує працювати з використанням технології факельного спалювання вугілля, якість якого безперервно погіршується і призводить до зменшення ККД вітчизняних вугільних ТЕС з 36–38% до 25–28%, у той час як ККД закордонних вугільних ТЕС досягає 42–45%. Погіршення якості палива суттєво знижує маневрені можливості пилувугільних енергоблоків ТЕС при роботі на змінних навантаженнях [3].

Таблиця 2. Питомі витрати умовного палива на ТЕС у 2014–2018 рр.

| Найменування ТЕС | Питома витрата умовного палива, г у.п./($\text{кВт}\cdot\text{год}$) | | | | |
|-------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Криворізька | 395,9 | 446,0 | 422,4 | 420,1 | 422,5 |
| Придніпровська | 430,0 | 465,0 | 451,2 | 419,1 | 409,7 |
| Запорізька | 353,3 | 356,1 | 355,8 | 352,7 | 349,8 |
| Слов'янська | 420,2 | 411,3 | 415,1 | 425,0 | 407,4 |
| Вуглегірська | 373,5 | 378,5 | 383,1 | 391,7 | 389,7 |
| Трипільська | 399,7 | 404,2 | 442,8 | 453,6 | 421,7 |
| Зміївська | 410,9 | 451,8 | 435,9 | 450,2 | 420,0 |
| Бурштинська | 396,9 | 395,8 | 407,4 | 391,5 | 428,2 |
| Доброутвірська | 410,5 | 408,1 | 415,9 | 400,2 | 410,3 |
| Ладизинська | 385,2 | 399,3 | 403,9 | 387,6 | 397,5 |
| Курахівська | 380,4 | 393,6 | 390,4 | 386,7 | 405,1 |
| Луганська | 422,5 | 445,5 | 445,1 | 434,5 | 438,5 |
| ТЕС ГК (середня) | 398,3 | 412,9 | 414,1 | 409,4 | 408,4 |

Структура генеруючих потужностей України, з точки зору забезпечення ефективного регулювання частоти і потужності в ОЕС, є вкрай неоптимальною, обтяжена базовими потужностями АЕС і гострим дефіцитом маневрених енергоблоків ТЕС. Значна частка АЕС, які покривають базову частину добового графіку електричного навантаження (ГЕН), та зниження маневреності діючих пилувугільних енергоблоків ТЕС (внаслідок старіння обладнання) перешкоджають регулюванню ГЕН і призводять до зниження стійкості та надійності роботи енергосистеми.

Основою регулювання ГЕН ОЕС України є вугільні енергоблоки потужністю 150, 200 і 300 МВт (частина їх за фізичним станом перемарковано: 200 МВт на (175–185) МВт, 300 МВт – на 280 МВт). Через технічне зношення фактичний регулювальний діапазон вугільних енергоблоків становить від 15 до 20% (проектні – 30–40%) [1]. Внаслідок цього у маневрених режимах використовують енергоблоки, спроектовані для роботи в базових режимах (щоденно для нічного зниження навантаження відключається до 10 блоків з наступними пусками

Таблиця 3. Кількість пусків енергоблоків ТЕС [1, 2]

| Кількість пусків на різних ТЕС | Роки | | |
|---|-------------|-------------|-------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Блоки 200 МВт (загальна кількість) | 1729 | 1547 | 1572 |
| Курахівська ТЕС | 581 | 889 | 490 |
| Бурштинська ТЕС всього | | 482 | 708 |
| Бурштинська ТЕС в ОЕС України | 191 | 235 | 78 |
| Луганська ТЕС | 257 | 15 | 282 |
| Старобешівська ТЕС | 437 | 60 | |
| Зуївська ТЕС | 23 | 16 | |
| Зміївська ТЕС | 240 | 85 | 92 |
| Блоки 300 МВт (загальна кількість) | 309 | 974 | 1392 |
| Зміївська ТЕС корпуси блоків | 235 | 300 | 681 |
| Трипільська ТЕС блоки | 56 | 11 | 34 |
| Трипільська ТЕС корпуси блоків | | 247 | 309 |
| Запорізька ТЕС | 18 | 89 | |
| Криворізька ТЕС блоки | | 18 | 56 |
| Криворізька ТЕС корпуси блоків | | 309 | 312 |
| Слов'янська ТЕС корпуси блоків 800 МВт | 3 | 143 | 185 |
| Загальна кількість пусків на ТЕС | 2041 | 2664 | 3149 |

до ранкового або вечірнього максимумів). Такі режими призводять до активного спрацювання ресурсу устаткування, підвищеної аварійності та перевитрат палива.

Кількість пусків на ТЕС України у період 2014–2016 рр. наведено в табл. 3 (за матеріалами Укренерго та Міністерства енергетики та вугільної промисловості України [1, 2]). Як видно з таблиці, загальна кількість пусків за роками зростає. Таким чином, устаткування енергоблоків ТЕС в залежності від потужності та режимів використання повинно бути розраховано на загальну кількість пусків з різних теплових станів за весь термін їх служби. Орієнтовна кількість пусків за термін служби повинна складати: для конденсаційних і теплофікаційних енергоблоків у базовому режимі – 2000 (для потужності до 500 МВт); 1000 – для потужності від 500 МВт і вище; для конденсаційних енергоблоків у напівпіковому режимі – 10000; у піковому режимі – 12000 [5]. Кількість робочих пусків-зупинок вугільних енергоблоків 150–300 МВт та їх корпусів в ОЕС Украї-

ни значно перевищує дозволу і залишається на досить високому рівні (в 2016 р. становила 3149 проти 2664 пусків у 2015 р.).

Пуски енергоблоків ТЕС здійснюються з використанням газу або мазуту, які відносяться до дефіцитних палив. Діаграми з витрат газу (тис. куб. м) на пуски енергоблоків ТЕС і потужних ТЕЦ із різних теплових станів наведено на рис. 1 (за матеріалами Укренерго).

Важливою характеристикою ефективності роботи теплових електростанцій є коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП). За даними Укренерго у 2017 році середній КВВП всіх ТЕС ГК України склав 25,5%: для енергоблоків: 200 МВт – 34,1%, 150 МВт – 33,5%, 100 МВт – 29,9%, 250 МВт – 25,4%, 300 МВт – 18,4% [1]. В країнах світу КВВП ТЕС у 2017 р. становив: Японія – 50%; Росія – 46%; Німеччина – 44%; Велика Британія – 39%; США – 34% [6].

Таким чином, основними факторами, що негативно впливають на роботу ОЕС України, є: зменшення робочої потужності, маневрених

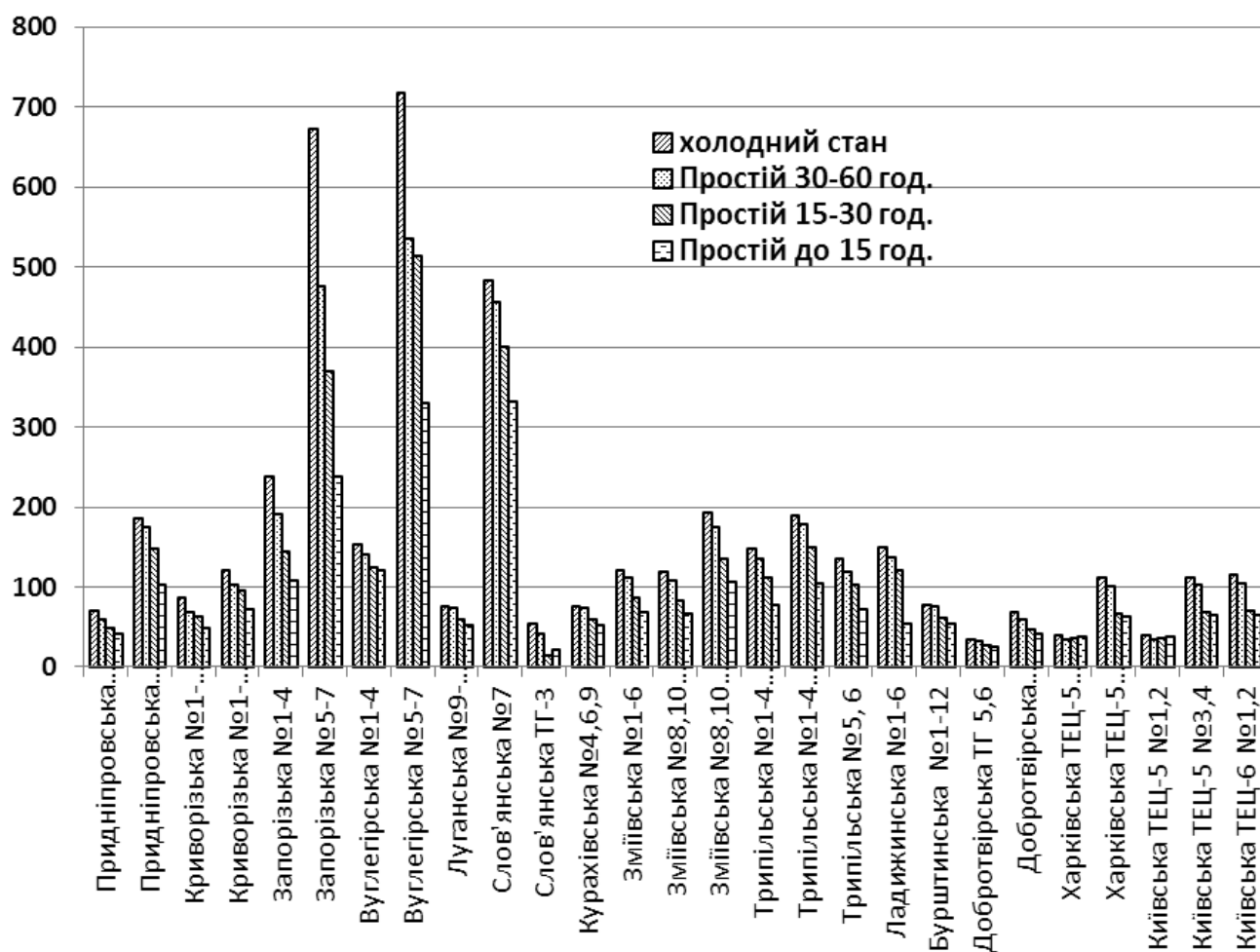


Рис. 1. Витрати газу (тис. куб. м) на пуски енергоблоків із різних теплових станів для ТЕС та ТЕЦ

можливостей і регулювального діапазону; підвищення аварійності; перевитрати палива; погіршення екологічних показників. Існуючі ТЕС України фактично знаходяться на стадії вичерпання фізичних можливостей для забезпечення добового регулювання ГЕН та раціональних режимів роботи і потребують сучасної реконструкції, модернізації або повної заміни з введенням нових високоманеврених енергоблоків.

На сьогодні важливим завданням України є підвищення ефективності теплової генерації зі своєчасним виконанням екологічних зобов'язань, оскільки потужні ТЕС на органічному паливі найбільш негативно впливають на довкілля. Згідно з документами Міністерства екології та природних ресурсів України [7, 8] для існуючих пилувугільних установок, введених в експлуатацію до 01.01.2018 р., поточні технологічні нормативи допустимих викидів (мг/м^3) до 31.12.2027 р. не повинні перевищувати:

- пилу – за потужності від 100 до 500 МВт – 100; за потужності більше 500 МВт – 50;
- NO_x – за потужності від 100 до 500 МВт – 600; за потужності більше 500 МВт – 200;
- SO_2 – за потужності від 100 до 500 МВт лінійно зменшується від 2000 до 400; за потужності більше 500 МВт дорівнює 400.

У 2017 р. схвалено Національний план скорочення викидів (НПСВ) від великих спалювальних установок [9], де наведено середньорічні обсяги викидів димових газів ($\text{нм}^3/\text{рік}$) та поточні обсяги викидів (т/рік): у вигляді твердих частинок (пилу); оксидів азоту (NO_x); діоксиду сірки (SO_2) на окремих енергоблоках ТЕС за 2014 р.

Розрахунками ІЗЕ НАНУ (за даними НПСВ) щодо поточних валових і гранично допустимих викидів та відношення поточних викидів до гранично допустимих для пилувугільних енергоблоків і теплових електростанцій в цілому (рис. 2) встановлено, що на ТЕС України відношення поточних валових викидів до гранично допустимих (за діючими технологічними нормативами) дуже різняться на окремих енергоблоках і ТЕС і складають: для пилу – від 0,6 (Зуївська ТЕС) до 22,1 (Слов'янська ТЕС); для NO_x – від 0,2 (Доброутвірська, Вуглегірська ТЕС) до 5,7 (Слов'янська ТЕС); для SO_2 – від 0,5 (Доброутвірська ТЕС) до 5,8 (Криворізька ТЕС). Такі поточні нормативи допустимих викидів для існуючих установок будуть діяти щодо: SO_2 та пилу до 31.12.2027; оксидів азоту – до 31 грудня 2033 р. В подальшому, згідно з Директивою 2010/75/EU про промислове забруднення (інте-

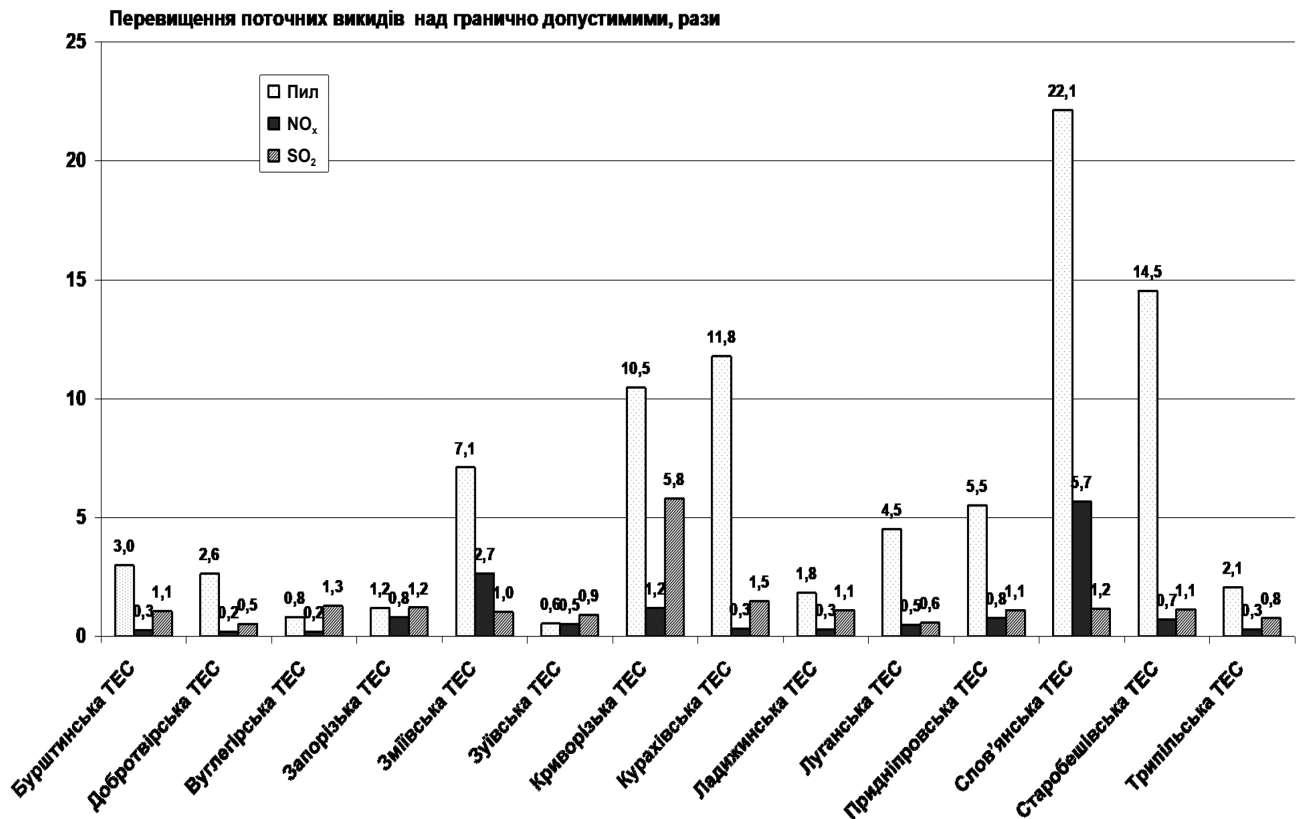


Рис. 2. Перевищення поточних викидів ТЕС над гранично допустимими

гроване запобігання та контроль забруднення) гранично допустимі викиди пиловугільних котлів (мг/м^3) не повинні перевищувати: пилу – 20; NO_x – 200; SO_2 – 200. (До НПСВ включено існуючі енергоблоки ТЕС загальною потужністю 16 ГВт, які мають досягти нормативних вимог Директиви 2010/75/EU).

На 1 січня 2017 р. в Україні в консервації знаходились енергоблоки загальною потужністю 7,56 тис. МВт: Вуглегірська ТЕС (3x800); Запорізька (3x800); Криворізька (4x282); Ладжинська (2x300); Луганська (1x175); Придніпровська (3x285).

Згідно з НПСВ планується вивести з експлуатації та замінити новими такі енергоблоки ТЕС до 2028 р.: Бурштинська ТЕС (блоки 1–4); Добропільська ТЕС (котли 5–8); Криворізька ТЕС (блоки 8 і 9); Придніпровська ТЕС (7, 8, 10); в період 2028–2033 рр.: Бурштинська ТЕС (блоки 5–7); Вуглегірська ТЕС (блоки 5–7); Запорізька ТЕС (блоки 5–7); Зміївська ТЕС (блоки 3–6), Криворізька ТЕС (блоки 2, 5); Курахівська ТЕС (блоки 5–7); Придніпровська ТЕС (блок 9); Слов'янська ТЕС (блок 7), Старобешівська ТЕС (блоки 6, 7); Трипільська ТЕС (блоки 5, 6) [9].

У 2013 р. ІЗЕ НАНУ проведено техніко-економічні розрахунки перспективних природоохоронних технологій теплової енергетики України, які забезпечують досягнення сучасних норм викидів основних забруднювачів атмосферного повітря від потужних ТЕС. У роботі [10] показано, що в умовах ринкової конкуренції впровадження природоохоронних технологій високої ефективності на енергоблоках ТЕС буде привабливим для інвестицій лише за умов збільшення податку на викиди основних забруднювачів у 10 разів порівняно з рівнями, встановленими у Податковому кодексі України.

Світова енергетична політика постійно змінюється, відбувається перехід від застарілої моделі енергетики до нової. Перед Україною постають нові економічні та технологічні виклики та відкриваються можливості для впровадження інноваційних розробок. На основі принципу пріоритетності та економічної доцільності визначено 4 етапи модернізації та екологізації теплової енергетики України [11]:

- перший (до 2025 р.) – маловитратні та частково середньовитратні засоби;
- другий (2026–2035 рр.) – середньовитратні і частково високовитратні засоби;
- третій (2036–2040 рр.) – перехід до радикальної реконструкції ТЕС зі застосуванням найбільш ефективних технічних засобів;
- четвертий (після 2040 р.) – впровадження принципово нових ефективних та екологічно чистих енергетичних технологій.

Перехід на нові технології в теплоенергетиці може забезпечити підвищення як енергетичної й економічної ефективності, так і екологічної безпеки зі зменшенням викидів забруднюючих речовин до допустимого рівня. Основними чинниками для цього є технічне переозброєння теплоенергетики з радикальним покращенням техніко-економічних показників і оснащенням котлоагрегатів ТЕС ефективним пилогазоочисним обладнанням, а також будівництво нових енергоблоків на основі сучасних технологій спалювання органічного палива, виведення з роботи енергогенеруючого обладнання електростанцій, яке вичерпало технічний ресурс. Нове обладнання на основі передових технологій необхідно проектувати і виробляти на вітчизняних підприємствах.

Згідно з проектом «Нової енергетичної стратегії України до 2035 р: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (НЕС) від 01.06.2017 р., головним завданням є виведення держави на рівень максимальної енергетичної незалежності. Трансформація енергетичного комплексу країни має відбуватись у три етапи [12]:

1. «Реформування енергетичного сектору» – до 2020 р. Головні акценти – впровадження реформ та формування конкурентного та інвестиційно привабливого середовища (зниження енергоємності ВВП, забезпечення високих екологічних норм; фінансування проектів тощо).

2. «Оптимізація та інноваційний розвиток енергетичної інфраструктури» – до 2025 р. Етап зорієнтовано на роботу в умовах нового ринкового середовища та інтеграції ОЕС України з енергосистемою Європи, що суттєво вплине на вибір об'єктів для реконструкції або нового будівництва в енергетиці з підвищенням їх енергетичної ефективності.

3. «Забезпечення сталого розвитку» – до 2035 р. Етап спрямований на інноваційний розвиток енергетичного сектору і будівництво нової генерації (вибір типу генерації буде залежати від ціни на паливо й інтенсивності розвитку кожного типу генерації).

ВИСНОВКИ

1. За аналізом технічного стану теплової енергетики України виявлено значні зміни умов експлуатації енергоблоків (старіння обладнання, низька маневреність при регулюванні ГЕН в ОЕС, паливні проблеми), що призвело до зростання питомих витрат палива на виробництво електроенергії, зменшення коефіцієнта використання встановленої потужності ТЕС, збільшення викидів в навколишнє середовище у порівнянні зі світовим рівнем.

2. Внаслідок технічного зношення фактичний регулювальний діапазон вугільних енергоблоків знизився до 15–20% за проектних – 30–40%.

3. Використання у маневрених режимах енергоблоків ТЕС, спроектованих для роботи на базових навантаженнях, призводить до активного спрацювання ресурсу устаткування, підвищення аварійності, додаткових витрат палива.

4. Встановлено, що на діючих електростанціях України відношення поточних валових викидів до гранично допустимих (за діючими в країні технологічними нормативами) значно різняться та складають: для пилу – від 0,6 до 22,1; для NO_x – від 0,2 до 5,7; для SO_2 – від 0,5 до 5,8.

5. Для підвищення енергетичної ефективності ТЕС України і виконання екологічних зобов'язань згідно з Директивою 2010/75/ЄС необхідно виведення з експлуатації старіючого обладнання з заміною новим енергетично ефективним та впровадженням перспективних природоохоронних технологій, які забезпечують досягнення сучасних норм викидів основних забруднювачів атмосферного повітря.

1. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. К.: ДП НЕК «Укренерго», 2017. 117 с. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyh-potuzhnostej.pdf> (дата звернення: 10.12.2018).
2. Інформація про роботу електроенергетичного комплексу. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=245183225 (дата звернення: 10.12.2018).
3. Зарубіжний досвід з підвищення енергетичної ефективності та впровадження нових технологій виробництва електричної енергії. ВП НТЦЕ ДП НЕК «Укренерго». 2014. 73 с.
4. Саква Ю. Эксплуатировать – дорого, остановить – невозможно! 19.06.2018. URL: <http://uaenergy.com.ua/post/31003> (дата звернення: 10.12.2018).
5. СТО 70238424.27.100.008-2008. Блочные установки. Условия поставки. Нормы и требования. М., 2008. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293808/4293808247.htm> (дата звернення: 22.02.2019).
6. Панина А.Г. Перспективы развития электроэнергетики. Модернизация. М., 2018. URL: <http://media.rspp.ru/document/1/7/a/7a1057e702babe86648c07e6b4bc706e.pdf> (дата звернення: 22.03.2019).
7. Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 541 від 22.10.2008. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1110-08> (дата звернення: 10.04.2019).
8. Про внесення змін до наказу Мінприморди від 22 жовтня 2008 року № 541: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 16.02.2018 № 62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0290-18#n6> (дата звернення: 11.04.2019).
9. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів від 08.11.2017 р. № 796-р.
10. Дубовський С.В., Коберник В.С. Техніко-економічні оцінки перспективних природоохоронних технологій теплової енергетики України. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. Вип. 2(33). С. 49–56.
11. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали). К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. 78 с.
12. Нова енергетична стратегія України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». 2017. 53 с. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112> (дата звернення: 11.04.2019).

Надійшла до редколегії: 22.04.2019