

# НОВІТНЯ ГАЗОПАРОТУРБІННА ТЕХНОЛОГІЯ „ВОДОЛІЙ” ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕХАНІЧНОЇ (ЕЛЕКТРИЧНОЇ) І ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ

---

## Вступ

Серед криз, які спіткають людське суспільство, найбільш небезпечною є енергетична. Вона відрізняється надзвичайно затяжним характером і здатна одночасно вразити всі галузі діяльності держави аж до повного їх розвалу. Саме така криза набирає обертів в нашій державі.

Україна має, а точніше мала потужний, але стрімко старіючий енергетичний комплекс, який створювався протягом більш як півстоліття. За роки незалежності темпи будівництва і запровадження нових енергогенерувальних потужностей в декілька разів відстають від темпів їх старіння, а останніми роками вкрай зношене устаткування працює на межі граничних технічних можливостей.

## Сучасний стан проблеми

Ситуацію, що склалася, значно погіршує круте повернення технічної політики енергозабезпечення країни в бік роздільного виробництва теплової і електричної енергії: теплової в котельнях, а електричної- на ТЕС, в зв'язку з чим все більше ТЕЦ перетворюються на котельні. При цьому розробляються і здійснюються на практиці проекти теплозабезпечення окремих міст і навіть крупних районів від котельень, які використовують як паливо природний газ. Крім того, як гриби виникають котельні в різних організаціях і підприємствах, а в країну широким потоком пливе котельне обладнання закордонного виробництва. Але ж наукою і практикою доведено, що спільне виробництво електричної та теплової енергії на ТЕЦ навіть при застосуванні застарілої паротурбінної технології зменшує витрати палива на 16...18%.

Одночасно при цьому погіршується якість палива. Разом з деградацією обладнання це призводить до стрімкого зростання його питомих витрат та значного збільшення забруднення навколишнього середовища. В зв'язку з цим міжнародні екологічні стандарти Україною не виконуються, а виробництво електричної і теплової енергії не відповідає сучасному світовому рівню.

Одночасно при цьому зменшується оптимізм і відносно атомної енергетики, що обумовлено декількома причинами. По-перше тим, що деградує теплогенеративний комплекс не в змозі забезпечити її необхідними обсягами маневрових і пікових потужностей. Вже влітку 2003 року, в період нічного мінімуму споживання електроенергії, доля її виробництва АЕС становила 66%, що є граничною можливістю її регулювання за рахунок використання паротурбінних блоків теплових електростанцій. По-друге тим, що значна частина блоків АЕС введена в дію ще в 1980-1983 роках і наближається час виводу їх з експлуатації. А заміна їх на нові пов'язана з великими капітальними витратами, адже кВт встановленої потужності АЕС сягає біля 3000 доларів США. По-третє, великими капітальними витратами на організацію та будівництво власного виробництва ТВЕЛів та утримання ядерних відходів.

До сказаного слід додати, що значні негаразди в енергетичній галузі створює і невизначеність в технічних рішеннях (технологіях), які б забезпечили ефективну і з малими витратами коштів реанімацію енергетичного комплексу країни.

Традиційні паротурбінні і парогазові технології (ПТ і ПГТ – технології) на органічному паливі не тільки дорогі, але і мають відносно низький коефіцієнт корисної дії (ККД), нова бінарна газопаротурбінна технологія (БГПТ – технологія), з якою світова спільнота пов'язує своє забезпечення енергією, хоча і має високий ККД, але як паливо використовує тільки природний газ, а по своїй вартості вона близька до ПТ і ПГТ – технологій, вартість яких складає біля 1500 дол. США за кВт встановленої потужності.

#### **Газопаротурбінна технологія «Водолій»**

Останнім часом до викладених негараздів додалася ще й газова криза, придушення якої можливе тільки шляхом застосування високоефективних сучасних енергозберігальних технологій.

Саме до такого типу технологій відноситься газопаротурбінна технологія «Водолій» (ГПТТ „Водолій”), яку створено фахівцями НТУУ „КПІ” та ДП НВКГ „Зоря-Машпроект” з підрозділами ДК Укртрансгаз НАК „Нафтогаз України”. Вона не має аналогів в світовій науці та практиці і побудована на принципово нових наукових та технічних рішеннях, які забезпечують різке скорочення витрат паливних ресурсів та низьке забруднення навколишнього середовища (викиди найбільш канцерогенних поліароматичних вуглеводнів  $\text{NO}_x$  зменшуються в 2,5 рази порівняно з світовими нормами, а викиди парникового газу зменшуються на 23...24,5%). Одночасно вона потребує низьких капітальних витрат при запровадженні в практику, які майже в 2,0 рази менші від існуючих сучасних технологій.

Її перший промисловий зразок за рішенням Державної міжвідомчої комісії впроваджено в кінці 2003 року в дослідну експлуатацію як привод газоперекачувального агрегату на Ставищенській компресорній станції магістрального газопроводу «Уренгой-Ужгород». Це зменшило витрати природного газу на його транспортування цим агрегатом майже на 30%.

Якщо ж на компресорних станціях уже зношені газотурбінні приводи газоперекачувальних агрегатів замінити на ГПТТ „Водолій”, то витрати природного газу на його транспортування зменшаться на 2,8...3 млрд. м<sup>3</sup> за рік.

Рішенням Державної Міжвідомчої комісії від 18.11.2005 року перший зразок ГПТТ 16К „Водолій” запроваджено в серійну промислову експлуатацію, йому присвоєно №1 і запропоновано промисловості приступити до серійного виробництва ГПТТ „Водолій” для переозброєння газотранспортної мережі України.

Разом з тим слід зазначити, що ГПТТ „Водолій” хоча і має достатньо високий ефективний ККД (42,02 %), але знаходиться на початку шляху свого подальшого вдосконалення, бо побудована вона на принципово нових теоретичних рішеннях, які дозволили отримати на практиці спектр нових властивостей, серед яких найважливішими є:

1. Гранично можлива утилізація теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі при одночасному значному (в 2,8... 3 рази) підвищенні її температурного потенціалу.
2. Реалізація нового принципу регулювання електричної потужності ГТД при пониженні температури навколишнього середовища без зниження початкової температури циклу.
3. Використання властивостей ГТД підвищувати свою електричну потужність при зниженні температури навколишнього середовища для збільшення виробництва теплової енергії на потреби теплопостачання.
4. Використання в циклі ГТД крім власних вторинних енергоресурсів, ще й вторинних ресурсів різних теплових джерел, зокрема промислових підприємств, газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій і таке інше.

5. Використання частини пари, що утворюється в котлі-утилізаторі, для придушення утворення оксидів азоту в камері згоряння.
6. Реалізація ізотермічного процесу стиснення повітря в компресорі за рахунок використання в циклі надлишкової насиченої води.
7. Підвищення електричного ККД влітку за рахунок теплоти, що отримується при граничній її утилізації, а взимку за рахунок зниження температури навколишнього середовища.
8. Збільшення виробництва теплової енергії на тепlopостачання в опалювальний період пропорційно зниженню температури навколишнього середовища.
9. Можливість використання в циклі ГПТТ „Водолій” комбінованого палива (кам'яного вугілля і природного газу), де складова вугілля становить 60...65 %.

Незважаючи на такий широкий спектр нових властивостей у ГПТТ „Водолій”, які здатні суттєво підвищити її ККД, поки що жодна з них не використана на практиці. Тому в даній статті розглянемо першу з них, тобто гранично можливу утилізацію теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі, яка реалізується в світовій практиці.

Вперше, як відомо, всі одноконтурні котли-утилізатори енергетичних установок, тобто котли одного рівня тиску мають на своєму виході досить високу температуру відпрацьованих газів, яка становить біля 160...170°C. Це обумовлює значні викиди теплової енергії, яка в значній своїй кількості здатна перетворюватись в роботу. Нині ця проблема вирішується застосуванням дво- і триконтурних котлів-утилізаторів, тобто двох і трьох рівнів тиску. Але таке рішення в декілька разів збільшує габарити і значно підвищує вартість енергоустановки. Разом з тим такий метод поглиблення утилізації теплоти відпрацьованих газів не вирішує проблеми в цілому, оскільки перехід від одноконтурних до двоконтурних енергоустановок збільшує ККД на 0,7%, а перехід до триконтурних збільшує ще на 0,16%, а їх температура навіть за контуром третього тиску залишається на рівні 119...121°C [1].

Однак проведені теоретичні і експериментальні дослідження довели, що газопаротурбінна технологія „Водолій” з котлом-утилізатором в одноконтурному виконанні здатна не тільки усунути цей недолік, а і досягти значно більшого підвищення ККД, якщо застосувати УАДН-процес для поглиблення утилізації теплоти відпрацьованих газів, який розроблено авторами газопаротурбінної установки „Водолій”. Це наглядно підтверджується аналізом процесу утилізації теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі в Т-S – діаграмі, яка представлена на рис. 1.

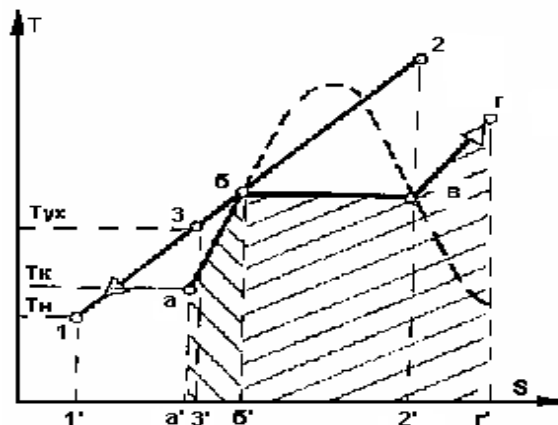


Рис. 1. Процес утилізації теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі

З теорії теплопередачі відомо, що необоротність процесу передачі теплоти від одного до іншого тіла буде тим більше, чим більшою буде розбіжність протікання процесів їх охолодження і нагрівання. Це підтверджується наступними викладами. З рис.1 видно, що в граничному випадку для випару води, нагрітої до температури насичення, і перегріву пари можна використати лише теплоту, що характеризується площею Г-Г'-6'-6-В-Г, яка дорівнює площі 2-2'-6'-6-2, а теплоту, що залишилася, яка характеризується площею 6-6'-1'-1-6, можна витратити тільки для нагрівання води ( у граничному випадку) до температури в точці „б”. Використання цієї теплоти буде тим повніше, чим ближче водяні еквіваленти відпрацьованих газів, що нагрівають, і води, що нагрівається. Тобто при повному її використанні повинна виконуватися умова

$$W_{ж} = W_{г}$$

де  $W_{ж}$  – водяний еквівалент нагріваної води в котлі-утилізаторі;

$W_{г}$  – водяний еквівалент нагрівальної газопарової суміші в котлі-утилізаторі.

Розрахуємо дійсні значення водяних еквівалентів води і парогазової суміші на ділянці підігріву води до температури насичення:

$$W_{\text{ж}} = C_{\text{ж}} \cdot G_{\text{ж}}, \quad (1.1)$$

$$W_{\text{г}} = C_{\text{рг}} \cdot G_{\text{г}}, \quad (1.2)$$

де  $C_{\text{ж}}, C_{\text{рг}}$  – ізобарні теплоємності відповідно води і газопарової суміші;  
 $G_{\text{ж}}, G_{\text{г}}$  – секундні витрати води і газопарової суміші.

Якщо водяні еквіваленти віднести до одного кілограма газопарової суміші в котлі-утилізаторі, то їхні вирази матимуть вигляд:

$$W_{\text{ж}} = C_{\text{ж}} \cdot \frac{G_{\text{ж}}}{G_{\text{г}}}, \quad (1.3)$$

$$W_{\text{г}} = C_{\text{рг}} \quad (1.4)$$

Враховуючи, що ізобарна теплоємність відпрацьованих газів газопарової суміші складає біля  $C_{\text{рг}} \approx 1,26$  кДж/кг·К, а відношення  $G_{\text{ж}}/G_{\text{г}} \approx 0,121$ , то:

$$W_{\text{ж}} = 4,18 \cdot 0,121 = 0,52 \text{ кДж} \cdot \text{с} / \text{К};$$

$$W_{\text{г}} = 1,26 \text{ кДж} \cdot \text{с} / \text{К}.$$

З отриманих відношень видно, що водяні еквіваленти відпрацьованих газів і води в котлі-утилізаторі відрізняються в 2,4 рази. З цієї причини теплота, що забирається водою на ділянці її нагріву до температури насичення ( на виході з економайзера котла-утилізатора) в 2,42 рази менше теплоти, яка наявна у відпрацьованих газах. Внаслідок цього процес утилізації теплоти відпрацьованих газів закінчується не в точці 1, а в точці „3” (див. рис.1), а теплота, що характеризується площею 3-3'-1'-1, викидається в атмосферу. Якби вдалося збільшити витрату води в економайзері котла-утилізатора порівняно з кількістю пари, яка генерується у випарнику, то протікання процесу 2-6-3 було б подовжено до температури  $T_{\text{к}}$ , яка визначається призначеним температурним напором на виході з економайзера між температурою відпрацьованих газів і живильною водою, що в нього надходить.

Завдяки цьому була б вирішена проблема гранично можливої утилізації теплоти відпрацьованих газів в одноконтурному котлі-утилізаторі і при нижчій їх температурі. Зважаючи на те, що температура живильної води на вході в економайзер становить біля 35...45°C, а призначений температурний напір на виході економайзера не перевищує  $\Delta T = 20...25^\circ\text{C}$ , то температура відпрацьованих газів на виході з одноконтурного котла-утилізатора не перевищуватиме 55...70°C, що на 50...65°C нижче порівняно з традиційним триконтурним котлом.

Таким чином, якщо на ділянці нагріву води до насиченого стану збільшити її кількість, то вдасться поглибити утилізацію теплоти відпрацьованих газів до наперед заданої температури, що дасть змогу суттєво підвищити ефективність роботи котла-утилізатора без додаткового його ускладнення і збільшення габаритів. Але при цьому утворюється значна кількість надлишкової води, яка не може перетворюватися в пару. Тому для вирішення цієї задачі надлишкову насичену воду на виході з економайзера слід відбирати в повному обсязі, щоб не порушувати процеси утворення і перегріву пари, і спрямовувати її на виробництво механічної енергії в окремому термодинамічному процесі, який отримав назву УАДН-процесу. Надлишкову насичену воду після економайзера також можна безпосередньо використовувати на гаряче водопостачання чи опалення.

Нині розроблено декілька способів використання надлишкової насиченої води в циклі газопаротурбінної установки „Водолій” і реалізуючих їх теплових схем. Але про це мова піде в інших публікаціях.

### Література

1. Березенец П.А., Васильев М.К., Костин Ю.А. Анализ схем бинарных ПГУ на базе перспективных ГТУ //Теплоэнергетика -2001 - №5 – С.18-30.