

УДК 620.9:521.433

**КУЛИК М.П.**, канд. техн. наук, доцент

*Івано-Франківський НТУ нафти і газу, м. Івано-Франківськ*

**КРАВЕЦЬ Т.Ю.**, канд. техн. наук, доцент

*НУ "Львівська політехніка", м. Львів*

## **КОМБІНОВАНА ПАРОГАЗОТУРБІННА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА ЗМІННОЇ СТРУКТУРИ**

*Енергетика України через зношеність технологічного обладнання знаходиться критичному стані. Вугільні блоки є джерелами викиду шкідливих речовин у атмосферне повітря. Запропоновано дві схеми ПГТУ, які поєднують паровий та газовий цикл генерації, та працюють на продуктах газифікації вугілля. Підвищується маневровість блоків. Використання мембран для розділення повітря унеможливило утворення оксидів азоту*

**Ключові слова:** маневровість, мобільність, мембранне розділення повітря, паровий та газо-вий цикл генерації.

*Энергетика Украины из-за изношенности технологического оборудования находится в критическом состоянии. Угольные блоки являются источником выбросов вредных веществ в окружающую среду. Предложены две схемы ПГТУ, в которых совмещены паровой та газовый цикл генерации, та работают на продуктах газификации угля. Использование мембран для разделения воздуха устраняет образование окислов азота*

**Ключевые слова:** маневренность, мобильность, мембранное разделение воздуха, паровой та газовый цикл генерации.

*Power engineering in Ukraine due to the wear of technological equipment is in critical condition. Coal blocks are sources of emissions of harmful substances into the atmosphere. Two schemes of steam and gas turbine plants, which combine the steam and gas generation cycle, are proposed and work on coal gasification products. The maneuvering of blocks is increasing. The use of membranes to separate air makes it impossible to form nitrogen oxides.*

**Keywords:** maneuverability, mobility, membrane separation of air, steam and gas-cycle generation

**Вступ.** Енергетика України характеризується нестачею маневрових потужностей, при цьому для покриття пікових навантажень часто використовуються вугільні енергоблоки ТЕС, основне технологічне обладнання яких на 70-80 % [1, 2] вичерпало свій проектний ресурс. З іншої сторони об'єкти теплової генерації є джерелом великих викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря, а з погіршенням якості кам'яного вугілля їх обсяги будуть зростати. Слід також зауважити, що робота вугільних енергоблоків у непроекtnих пікових та напівпікових режимах ще більше буде погіршувати техніко-економічні та екологічні показники ТЕС.

**Аналіз стану вирішення проблеми.** В тепловій енергетиці відомий спосіб газової генерації електричної енергії, який при наявності певної інфраструктури в Україні широко не використовується. У деяких високо розвинутих країнах значна частина генерувальних потужностей базується на газотурбінних технологіях [3]. Газові енергетичні установки мають вищий коефіцієнт корисної дії, але потребують дорогого газотурбінного палива, а також характеризуються значно нижчими викидами в атмосферу оксидів вуглецю та оксидів азоту.

Україна володіє повним циклом розроблення та виробництва промислових газових турбін, авіаційних та суднових газотурбінних двигунів та енергетичних установок. З іншого боку, досить перспективним видом термодинамічного циклу є комбінований парогазовий цикл, який полягає в тому, що для генерації водяної пари в котлі-утилізаторі використовують продукти згорання на виході з газової турбіни. Великі перспективи має для України використання парогазових енергетичних установок (ПГУ) для утилізації доменного газу металургійних виробництв. Дослідження, виконані деякими вітчизняними науково-виробничими та конструкторськими структурами, доводять перспективність такого важливого напрямку використання таких установок у нафтопереробному комплексі на низькокалорійних газових відходах, що додатково зможе покращити екологічну ситуацію.

Вітчизняні науковці розробили газопаротурбінну установку типу "Водолій" [4] для утилізації відхідних газів газоперекачувальних агрегатів газотурбінних приводів нагнітачів природного газу магістральних газопроводів України, що дозволяє підвищити рівень енергозбереження при транспортуванні природного газу. Розроблена вказаними авторами технологія утилізації скидної теплоти ГТУ дозволяє підвищити ККД газотурбінних двигунів компресорних станцій до 48%, зменшити витрати природного газу на власні потреби, а також, майже двічі, знижуються викиди забруднюючих речовин, що забезпечує відповідність вимогам Директив Європейського Союзу щодо допустимих викидів.

Однак, не дивлячись на це в нашій країні парогазову технологію для генерації електричної енергії широко ще не використовують.

**Вибір напрямку вирішення виявлених проблем.** Оновлена "Енергетична стратегія України на період до 2035 року" не вирішує існуючих в енергетиці України проблем стосовно створення додаткових маневрових потужностей та зменшення дефіциту пікових потужностей.

Для стабілізації ситуації стосовно стійкості роботи ОЕС України, в межах необхідної якості електричної енергії, частка маневреної потужності об'єктів генерації має складати не менше 20-30 % від загальної потужності енергосистеми. Для цієї мети цілком підходять комбіновані ПГУ, які можуть працювати навіть на продуктах газифікації твердого палива, зокрема кам'яного вугілля в тому числі і вугілля низької якості власного видобутку. Реалізувавши технологію двох- і навіть трьохстадійного спалювання з використанням циклонних передтопків та циркулюючого киплячого шару (ЦКШ), можна досягти екологічних стандартів по викидам шкідливих речовин в атмосферне повітря. Робоче тіло для газової частини формується у міжкорпусному об'ємі циклонного передтопка.

Екологічні проблеми парогазового способу генерації в таких комбінованих енергетичних установках можна частково вирішити при подачі в зону спалювання помеленого кам'яного вугілля атмосферного повітря збагаченого киснем (без загально прийнятого на даний момент коефіцієнта надлишку повітря на рівні 1.15).

**Можливі варіанти вирішення поставленого завдання.** При подачі в зону спалювання збагаченого киснем атмосферного повітря зменшується загальний об'єм викидів внаслідок подачі меншої кількості атмосферного повітря, а також концентрація оксидів азоту через значно нижчу кількість атмосферного азоту. Такий спосіб в металургії давно відомий та широко використовується у вигляді так званого “кисневого дуття”.

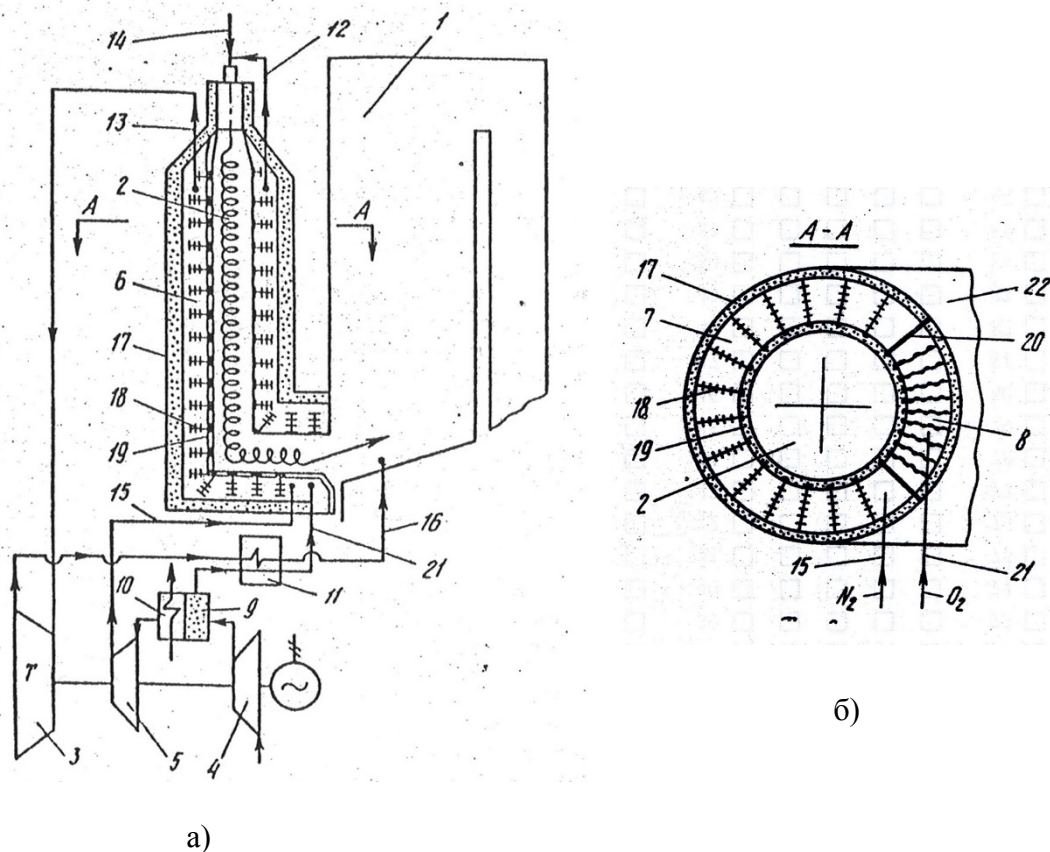
Збагачення атмосферного повітря киснем найбільш доцільно здійснювати при використанні мембранних технологій розділення з отриманням суміші збагаченої киснем та азотної фракції, яка скеровується у між корпусний відсік циклонного передтопка для формування робочого тіла газового циклу генерації.

Запропонована авторами [6] енергетична установка з мембранним розділювачем повітря забезпечує не тільки високу маневреність та мобільність енергоблоку, а і суттєве зниження утворених оксидів азоту по причині відсутності достатньої кількості азотної сировини для їх утворення.

Перевід великої енергетики на комбіновані парогазотурбінні енергетичні установки (ПГТУ) для підвищення мобільності в плані покриття пікових навантажень, та суворі вимоги по екологічності енергетичних установок, а з іншого боку - значна вартість газотурбінного палива (газоподібного чи рідкого) та погіршення якості енергетичного вугілля, ставить перед сучасними науковцями подвійну і взаємовиключаючу задачу: - уникнути використання газотурбінного палива, що тягне за собою газифікацію кам'яного вугілля, в тому числі низької якості; - забезпечити дотримання жорстких вимог екологічного законодавства, адаптованого до європейських директив.

Вищенаведені міркування стосовно необхідності модернізації об'єктів теплової енергетики шляхом їх оснащення обладнанням для газотурбінних установок, які мали б працювати на заміниках газотурбінного палива [2, 3], зокрема на думку автора цитованої роботи на попутних газах, синтез-газі у суміші з воднем, або на продуктах газифікації кам'яного вугілля. Для ефективного використання парогазотурбінних установок, що працюватимуть на твердому паливі (вугілля низької якості) необхідне створення досконалих систем його газифікації та очищення отриманої газової суміші від механічних домішок і шкідливих компонентів. Частково такі системи створені ведучими спеціалістами інституту вугільних енерготехнологій НАН України та описані у колективній монографії [6]. На думку авторів [2, 6] ККД комбінованих ПГТУ може сягати значень 50-60 %, але для цього також ще потрібна реконструкція різного ступеня складності газових турбін та їх камер згорання.

Подальше вдосконалення вищезгаданої комбінованої енергетичної установки [6] привело до розділення міжкорпусного об'єму додаткової топки на дві частини – азотний і кисневий [19] відсіки, крім того характерною відмінністю додаткової циклонної топки є наявність теплових трубок, які пронизують її перегородку (див. рис.1-а,б).

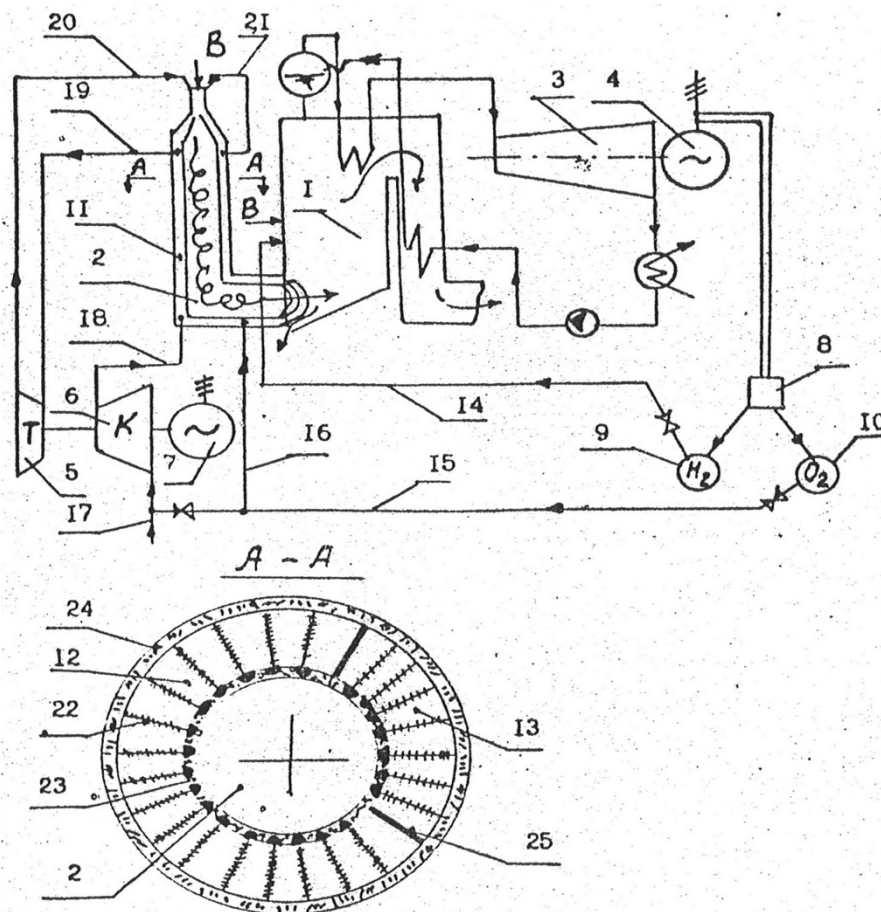


**Рис. 1 Схема комбінованої енергетичної установки з мембранним розділювачем повітря і відсіками(азотним і кисневим) .**

1 – основна топка; 2 – додаткова топка; 3-газова турбіна; 4, 5 – ступені компресора; 6 – об’єм для охолодження; 7, 8 - відповідно азотна і киснева частина топки; 9 – мембранний розділювач; 10 – холодильник; 11 – теплообмінник-регенератор; 12 – вихідний патрубок кисневої частини; 13 – лінія робочого тіла (азоту) на газову турбіну; 14 – тракт подачі палива в додаткову топку; 15 – лінія стиснутого азоту на нагрів; 16 – лінія вихлопу газової турбіни; 17 – теплоізоляція додаткової топки; 18 – теплові трубки; 19, 20 – відповідно внутрішня і роздільна стінки; 21 – киснева лінія на нагрів, 22 – скид додаткової топки

Особливість цієї енергетичної установки (рис.1-а,б) полягає в тому, що отримані продукти розділення атмосферного повітря (збагачена суміш киснем і азотна фракція) використовуються для різних цілей. Збагачене киснем атмосферне повітря нагрівається у теплообміннику-регенераторі 11 відхідними газами турбіни 3 по лінії 21 і попадає у кисневий відсік 8 додаткової топки, після наступного перегріву подається на запалювання пилоподібної суміші. Азотна фракція атмосферного повітря після охолодження у холодильнику 10 по лінії 15 поступає у азотний відсік додаткової топки, а після нагріву за допомогою теплових трубок 18, як робоче тіло з наперед заданими параметрами (тиском і температурою), скеровується по лінії 13 у газову турбіну. Нагрітий кисень інтенсифікує процеси горіння у додатковій топці, а значно менша наявність у ньому азоту запобігає утворенню оксидів азоту, чим досягається значне зниження їх викидів.

Дещо по іншому вирішена проблема зменшення викидів, зокрема викидів оксидів азоту, та подачі на спалювання збагаченого киснем, авторами роботи [20]. Принципова схема цієї енергетичної установки зображена на рис.2.



**Рис. 2 Схема комбінованої енергетичної установки з повітряним і кисневим відсіками в додатковій топці, а також блоком розділення води.**

1— основна топка котла; 2 – додаткова топка; 3 - парова турбіна; 4 – електрогенератор; 5 – газова турбіна; 6 – компресор; 7 – генератор ГТУ; 8 – блок розділення води; 9 – газгольдер-накопичувач водню; 10 – газгольдер-накопичувач кисню; 11 – рубашка охолодження додаткової топки; 12 – повітряний відсік додаткової топки; 13 – кисневий відсік; 14 – лінія скиду водню в основну топку; 15 - лінія подачі кисню на всмоктування компресора; 16 – лінія подачі кисню у кисневий відсік рубашки; 17 – лінія всмоктування компресора; 18- викид компресора у повітряний відсік рубашки; 19 – лінія подачі робочого тіла у газову турбіну; 20 – лінія скиду газової турбіни у додаткову топку; 21 – лінія виходу кисню із кисневого відсіку на горіння; 22 – теплові трубки; 23 – теплова ізоляція внутрішньої стінки додаткової топки; 24 – теплова ізоляція зовнішньої стінки додаткової топки; 25 –роздільна стінка відсіків додаткової топки

Відмінної ознакою вказаної розробки є наявність розділення води на водень та кисень за допомогою електричної енергії, виробленої у момент зменшеного споживання у нічні та літні періоди часу.

Накопичений у газгольдері 9 водень в денний період меншого споживання, в ранішні та вечірні години, коли навантаження на основне генеруюче обладнання зростає, подається на спалювання вугілля низької якості в основну топку котельного агрегату. Це дозволить основному обладнанню всіх ТЕС більш гладко пройти максимальні пікові навантаження енергосистеми. Отриманий при цьому одночасно кисень іде на збагачення атмосферного повітря, що подається як в основну, так і в додаткову топку котельного агрегату. А це гарантує суттєве зменшення оксидів азоту атмосферного походження, що знижує екологічне навантаження на території розташування ТЕС, а також зменшує плату за забруднення навколишнього середовища, оскільки оксиди азоту належать до найвищого класу небезпеки.

**Висновки.** Запропоновані енергетичні установки можуть працювати як по паровому, так і по газовому способам генерації, окремо і в комбінації, тобто в широкому діапазоні зміни потужності. Під час нічних провалів накопичувати певні об'єми водню для підняття температури у факелі при спалюванні палива низької якості. Збагачення киснем атмосферного повітря знижує об'єми димових газів, а зниження вмісту азоту в суміші, яка поступає на горіння, унеможливує утворення швидких оксидів азоту. За рахунок газової генерації швидкість набору та зниження потужності також зростає, тобто підвищується мобільність енергетичної установки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Воронцов С. Про відповідність Енергетичної стратегії України на період до 2030 року сучасним викликам і загрозам у сфері енергетичної безпеки // Національний інститут стратегічних досліджень. – Електронний ресурс, <http://www.niss.gov.ua/articles/>
2. Запорожець Ю.М. Теплові електростанції України перед дилемою: або закриття або інтенсивне відновлення// Запорожець Ю.М.- Наукові праці Серія "Техногенна безпека", - Миколаїв: ЧДУ ім. П. Могили, вип.198, том 210 -2013р.,с.31- 38.
3. Патон Б.Є. Перспективи розвитку вітчизняної парогазової технології. / Патон Б.Є., Долинський А.А., Халатов А.А. і інш. //, Вісник НАН України (Київ), 2009, № 4, с.61-69.
4. Дикий Н.О. Газопаротурбинная технология «Водолей»: теоретические основы, технические решения и перспективы их использования // 4-й Междунар. семинар-практикум «Практика энергосбережения». Ялта, 2005.
5. Пеньков В.І., Грінченко Д.М., Кулик МП. Енергетична установка. Патент України № 18856, БВ №6, 1997р.
6. Вольчин І.А. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України
7. І.А. Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С.Гапонич, М.В. Чернявський, О.І.Топал, Я.І.Засядько, ТОВ "Гнозіс", Київ, 2013р., 318с.
8. Грінченко Д.Н., Кулик М.П. Энергетическая установка Авт. свид. СССР № 1813884, БИ № 17, 1993г.

9. Гринченко Д.Н., Кулик М.П. Энергетическая установка Авт. свид. СРСР № 1813883, БИ № 17, 1993г.