

Даний винахід відноситься до теплоенергетики, зокрема, до способу утилізації теплоти гарячих вихлопних газів газотурбінних двигунів (ГТД) і теплоенергетичної установки на основі ГТД для виробітку тепла і електроенергії.

Газотурбінні двигуни широко застосовуються як привод енергосилових установок в різних галузях промисловості, наприклад, в енергетиці, на транспорті, в газовій і нафтовій промисловості. У разі їх вживання в газотурбінних установках простого робочого циклу, що широко використовується на транспорті, вихлопні гази ГТД викидаються в оточуюче середовище. Проте, при температурі вихлопних газів від 400 до 500°C, яка характерна для сучасних конструкцій ГТД, стає доцільною утилізація теплоти вихлопних газів для її подальшого використання.

Відомі способи утилізації теплоти вихлопних газів ГТД і конструкції приводних установок різного призначення на основі ГТД, в яких у вихлопній шахті двигуна встановлений вихлопний котел-утилізатор для реалізації циклу теплофікації [1].

Недоліками такої схеми утилізації теплоти вихлопних газів є неможливість рівномірного завантаження теплової системи, через сезонну нерівномірність споживання тепла, а також необхідність наявності розгалуженої системи споживання теплоти. Особливі труднощі реалізації такої схеми виникають при експлуатації теплоенергетичних установок у віддалених малоосвоєних районах, де немає крупних споживачів теплоти, що виробляється.

Відомий спосіб утилізації теплоти вихлопних газів ГТД і конструкція теплоенергетичної установки на основі ГТД для приводу генератора і одержання гарячих вихлопних газів [2], що містить систему виробітку теплоти на основі утилізації тепла вихлопних газів, яка включає котел-утилізатор, і систему виробітку електроенергії, що включає електрогенераторну установку з парогазовим приводом. Для такого способу і установки характерний бінарний робочий цикл, при якому вироблення електроенергії здійснюється генераторами, які приводяться в дію газовою або паровою турбіною, причім вироблення водяної пари здійснюється котлом-утилізатором, встановленим у вихлопній шахті ГТД. При такій схемі енерготеплової установки для виробітку теплоти, що витрачається на цілі теплофікації, необхідно здійснювати проміжний відбір пари на турбіні або застосовувати парову турбіну з протитиском для парового нагріву води, яка використовується в мережі теплофікації, що ускладнює і підвищує вартість як конструкції установки, так і її експлуатації.

Найближчими до технічного рішення, що заявляється, по істотних ознаках і поставленій технічній задачі є відомі способи утилізації теплоти вихлопних газів ГТД і конструкція енергетичної установки на основі ГТД [3] для приводу основного генератора або турбокомпресора і одержання гарячих вихлопних газів, яка включає систему виробництва теплоти на основі утилізації тепла вихлопних газів, що включає водяний котел-утилізатор, насосну установку для циркуляції води, що нагрівається, в системі виробітку теплоти, а також систему виробітку електроенергії, що складається із замкнутого контуру, оснащеного теплообмінним, насосним, ємнісним устаткуванням, а також обладнанням для конденсації пари робочого середовища, запірної і регулюючої арматури, утилізаційної електрогенераторної установки з паротурбінним приводом, системи автоматизованого управління і регулювання роботи системи виробітку теплоти і системи виробітку електроенергії. Дана установка працює по бінарному робочому циклу, при цьому пентан або ізобутан застосовується в замкнутому контурі як робоче середовище, а вода, що нагрівається в котлі-утилізаторі, розміщеному на вихлопній шахті газотурбінного двигуна, може застосовуватися як теплоносієм для випаровування вказаного робочого середовища. Недоліком такого способу і конструкції установки для його здійснення є відсутність можливості одночасної роботи системи виробітку теплоти і системи виробітку електроенергії в режимі теплофікації і в режимі виробітку електроенергії. Крім того, вироблення пари при роботі турбіни контуру виробітку електроенергії забезпечується спеціальною системою регулювання температури вихлопних газів, що ускладнює конструкцію установки в цілому. Недоліком конструкції установки є також відсутність в системі управління і регулювання пристроїв, які забезпечують взаємну ув'язку режимів роботи системи виробітку теплоти і системи виробітку електроенергії для забезпечення їх найефективнішої роботи. Ще одним недоліком вказаної установки є використання повітряного теплообмінника як конденсатора пари низькокиплячого робочого середовища в контурі виробітку електроенергії, що обмежує можливості її експлуатації в літній період року. Використовування чистого пентану або ізобутану як робочого середовища в деяких випадках, наприклад, на компресорних станціях, розташованих у віддалених районах, пов'язане з певними незручностями в забезпеченні установок даними речовинами, оскільки при цьому виникають проблеми з організацією їх доставки і зберігання безпосередньо на місці їх використання, що суперечить вимогам автономності експлуатації. У ряді випадків, наприклад, на компресорних станціях нафтової промисловості, більш доцільно використовувати вуглеводневу робочу суміш, одержувану шляхом переробки на місці експлуатації наявного конденсату в автономній установці.

Таким чином, на підставі викладеного вище, технічна задача, яку вирішує даний передбачуваний винахід, полягає в створенні більш ефективних, в порівнянні з існуючим рівнем техніки, способу утилізації теплоти вихлопних газів ГТД і конструкції теплоенергетичної установки на основі ГТД для його здійснення, яка включає працюючий на воді утилізаційний контур системи виробітку теплоти, який має подвійне призначення, тобто здатний забезпечити подачу утилізованої теплоти в мережу теплофікації на заданих режимах, а також ефективну роботу системи виробітку електроенергії, у складі якої використовується паротурбінний утилізаційний модуль. При цьому, відповідно до сезонних умов експлуатації, забезпечується можливість роботи теплоенергетичної установки, що заявляється, або в режимі електростанції, або в когенераційному режимі, тобто можливість одночасного виробітку як гарячої води, так і електроенергії.

Вказані вище способи і пристрій складають групу винаходів, об'єднаних єдиним винахідницьким задумом, що забезпечує рішення поставленої технічної задачі, направленої на підвищення ефективності утилізації теплоти гарячих вихлопних газів газотурбінного двигуна (ГТД) для виробітку тепла і електроенергії за рахунок забезпечення ефективної роботи системи виробітку електроенергії при одночасній подачі утилізованої теплоти в мережу теплофікації.

Для вирішення поставленої задачі створений спосіб утилізації теплоти гарячих вихлопних газів газотурбінного двигуна (ГТД) для виробітку тепла і електроенергії, що включає, як і відомі із стану рівня техніки:

- спалювання газоповітряної суміші в камері згоряння ГТД;
- передачу утилізованої теплоти вихлопних газів ГТД робочому середовищу водяного котла-утилізатора;
- передачу утилізованої теплоти від гарячої води робочому середовищу утилізаційної системи виробітку електроенергії при випаровуванні робочого середовища;
- розширення пари робочого середовища в паротурбінному приводі утилізаційної електроенергетичної установки;
- конденсацію пари, що розширилася, і перекачування конденсату назад в систему виробітку електроенергії,

в якому, відповідно до передбачуваного винаходу:

- низькокиплячу вуглеводневу суміш, наприклад продукт переробки нафтового конденсату або нафти, використовують як робоче середовище утилізаційної системи виробітку електроенергії;
- передачу утилізованої теплоти від гарячої води робочому середовищу утилізаційної системи виробітку електроенергії здійснюють одночасно з її передачею в мережу теплофікації;
- перед подачею конденсату назад в утилізаційну систему виробітку електроенергії проводять його накопичення, розгазовування, а також контрольоване виведення несконденсованих компонентів газоподібної вуглеводневої суміші.

При цьому витрату і тиск води в контурі казана-утилізатора можуть регулювати відповідно до необхідного температурного режиму і витрати робочого середовища в утилізаційній системі виробництва електроенергії, а витрату і температуру води в пристрої підігріву води в мережі теплофікації можуть регулювати відповідно до потреб споживачів теплоти.

Причін параметри робочого середовища в утилізаційній системі виробітку електроенергії можуть регулювати з урахуванням відведення частини виробленої теплоти в мережу теплофікації.

Той факт, що передачу утилізованої теплоти вихлопних газів від гарячої води в контурі котла-утилізатора робочому середовищу утилізаційної системи виробітку електроенергії здійснюють одночасно з її передачею в мережу теплофікації, причому витрату і тиск води в контурі котла-утилізатора можуть контролювати відповідно до заданого температурного режиму і витрати робочого середовища в утилізаційній системі виробітку електроенергії, витрату і температуру води в пристрої, що забезпечує підігрів води в мережі теплофікації, можуть регулювати відповідно до потреб споживачів теплоти, а параметри робочого середовища в утилізаційній системі виробітку електроенергії можуть регулювати з урахуванням відведення частини виробленої теплоти в мережу теплофікації, забезпечує можливість реалізації подвійного призначення способу, а саме можливість подачі утилізованої теплоти в мережу теплофікації одночасно із забезпеченням ефективної роботи утилізаційної системи виробітку електроенергії, що може бути обумовлене як сезонними вимогами експлуатації, так і регіональними особливостями реалізації способу. У результаті, вирішується технічна задача підвищення ефективності утилізації теплоти вихлопних газів в цілому.

Використання в системі виробітку електроенергії як робочого середовища низькокиплячої вуглеводневої суміші, наприклад, продукту переробки нафтового конденсату або нафти, яка може включати різноманітні компоненти, відсутні в пентані і не роблять істотного впливу на її термодинамічні характеристики як низькокиплячого робочого тіла, здешевлює реалізацію способу, наприклад, в умовах компресорної станції. При цьому нормальному здійсненню способу сприяє і те, що перед подачею конденсату назад в утилізаційну систему виробітку електроенергії виконують його накопичування і розгазовування, а також регульоване виведення несконденсованих компонентів газоподібної вуглеводневої суміші.

Для здійснення способу утилізації теплоти гарячих вихлопних газів газотурбінного двигуна (ГТД) для виробітку теплоти і електроенергії:

- спалюють газоповітряну суміш в камері згоряння ГТД;
- передають теплоту вихлопних газів ГТД робочому середовищу у водяному котлі-утилізаторі;
- теплоту, що утилізували водою, за допомогою контуру системи виробітку електроенергії одночасно передають в мережу теплофікації, а також робочому середовищу системи виробітку електроенергії для випаровування цього робочого середовища;
- причому як робоче середовище використовують низькокиплячу вуглеводневу суміш, наприклад, продукт переробки нафтового конденсату або нафти;
- при цьому витрату і тиск води в контурі котла-утилізатора регулюють відповідно до вимог температурного режиму робочого середовища в утилізаційній системі виробітку електроенергії;
- витрату води в системі випаровування і пристрої для підігріву води в мережі теплофікації, регулюють відповідно до потреб споживачів теплоти і електроенергії, що виробляється;
- крім того, параметри робочого середовища в утилізаційній системі виробітку електроенергії регулюють з урахуванням відведення частини виробленої теплоти в мережу теплофікації;
- здійснюють процес розширення пари робочого середовища в паротурбінному приводі електроенергетичної установки;
- підігрівають паром, що виходить з турбіни, сконденсоване робоче середовище перед подачею його у випарну систему;
- конденсують пару у водяних конденсаторах;
- перекачують конденсат назад в систему виробітку електроенергії;
- перед перекачуванням конденсату в утилізаційну систему виробітку електроенергії забезпечують його накопичення в спеціальному пристрої і розгазовування, а також здійснюють регульоване відведення несконденсованих компонентів газоподібної вуглеводневої суміші.

Спосіб утилізації теплоти вихлопних газів ГТД здійснюють за допомогою теплоенергетичної установки на основі газотурбінного двигуна (ГТД), призначеного для приводу основного генератора або турбокомпресора і отримання гарячих вихлопних газів, що включає, як і відомі із стану рівня техніки:

- систему виробітку теплоти, що використовує тепло вихлопних газів, причому система включає контур утилізації, до складу якого входять водяний котел-утилізатор, насосна установка для циркуляції води, що

нагрівається, труба обв'язка з арматурою;

- систему виробітку електроенергії, яка складається із замкнутого контуру, оснащеного теплообмінним, насосним, місткісним обладнанням і устаткуванням для конденсації пари робочої суміші, запірної і регулюючої арматури, електрогенераторної утилізаційної установки з паротурбінним приводом;

- систему автоматизованого управління і регулювання роботи системи виробітку теплоти і системи виробітку електроенергії;

в якій відповідно до даного передбачуваного винаходу:

- робочим середовищем в системі виробітку електроенергії, є низькокипляча вуглеводнева суміш, наприклад, продукт переробки нафтового конденсату або нафти;

- система виробітку тепла установки забезпечена кожухотрубчастим теплообмінним апаратом для передачі теплоти, що виробляється, з контуру утилізації системи виробітку теплоти установки через трубу обв'язку в контур теплофікації теплоспоживача, причому труба обв'язка оснащена приводною арматурою, яка забезпечує подачу гарячої води з котла-утилізатора як в контур теплофікації, так і в контур системи виробітку електроенергії;

- замкнутий контур системи виробітку електроенергії установки включає триступеневу систему випаровування низькокиплячої вуглеводневої суміші гарячою водою; пристрій, наприклад, теплообмінник - рекуператор для попереднього підігріву конденсату гарячими парами вуглеводневої суміші, що виходять з парової турбіни, перед подачею їх в систему конденсації; систему конденсації, яка включає, наприклад, водяний конденсатор пари робочого середовища, причому згаданий вище теплообмінник-рекуператор утворює з водяним конденсатором системи конденсації пари робочого середовища єдиний модуль у складі системи виробітку електроенергії, а також пристрій для виведення з контуру низькокиплячого робочого середовища несконденсованих компонентів газоподібної вуглеводневої суміші;

- система управління і регулювання параметрів теплоенергетичної установки містить засоби управління і регулювання, наприклад, датчики тиску, температури і витрати, включені в систему управління і регулювання за допомогою контролерів, що забезпечують експлуатацію утилізаційного контуру системи виробітку теплоти в двох режимах - теплофікації і виробітку електроенергії. При цьому реалізація режимів забезпечується завдяки використанню запірної і регулюючої арматури, встановленої на відповідних трубопроводах, що забезпечують подачу гарячої води з системи виробітку теплоти в систему випаровування робочого середовища паротурбінного модуля і в кожухотрубчастий теплообмінник для підігріву води в мережі теплофікації за рахунок вироблення вищезгаданими датчиками сигналів, що впливають на приводи арматури; крім того:

- для регулювання тиску води котел-утилізатор може бути оснащений регулятором тиску з плаваючим поршнем, газова порожнина якого сполучена з трубопроводом подачі газу високого тиску, відібраного від паливного трубопроводу, а рідинна порожнина сполучена з контуром котла-утилізатора, при цьому регулятор оснащений показником рівня, по сигналах якого привід регулятора забезпечує необхідний тиск в газовій порожнині регулятора тиску і, відповідно, у водяному контурі котла-утилізатора;

- система випаровування низькокиплячої вуглеводневої суміші виконана триступеневою і включає перший ступінь, оснащений додатковим підігрівачем робочого середовища після теплообмінника-рекуператора, другий ступінь, забезпечений теплообмінником - випарником з показником рівня рідкої фази, а до складу третього ступеня входить пароперегрівач, який забезпечує робочі параметри пари робочого середовища на вході в паротурбінний двигун утилізаційного електрогенератора;

- на виході з пароперегрівача можуть бути встановлені датчики тиску і температури пари, сигнали яких забезпечують регулювання тиску і витрати гарячої води в контурі котла-утилізатора;

- для забезпечення надійної роботи насосна установка, що перекачує конденсат з системи конденсації, може бути забезпечена пристроєм для накопичення і розгазовування конденсату перед подачею його в теплообмінник і регульованого виведення несконденсованих компонентів газоподібної вуглеводневої суміші.

Істотні ознаки, що відрізняють пристрій, що заявляється, від прототипу, необхідні і достатні для вирішення поставленої технічної задачі, яка полягає в створенні більш ефективної, порівняно з існуючим рівнем техніки, теплоенергетичної установки на основі ГТД, в якій працюючий на воді утилізаційний контур системи виробітку тепла має подвійне призначення, тобто здатний забезпечити задану подачу утилізованої теплоти в мережу теплофікації, а також ефективну роботу системи виробітку електроенергії:

Робочим середовищем в системі виробітку електроенергії є низькокипляча вуглеводнева суміш, наприклад, продукт переробки нафтового конденсату або нафти, яка може містити різноманітні компоненти, відсутні в пентані і що не роблять істотного впливу на її термодинамічні характеристики як низькокиплячого робочого тіла, що здешевлює отримання робочого середовища і забезпечує автономний режим експлуатації теплоенергетичної установки, наприклад, в умовах компресорної станції.

Система виробітку теплоти установки забезпечена кожухотрубчастим теплообмінним апаратом, підключеним за допомогою трубною обв'язки до контуру виробітку тепла, який забезпечує передачу теплоти, що виробляється, з утилізаційного контуру системи виробітку теплоти установки в контур теплофікації теплоспоживача, причому труба обв'язка системи забезпечена приводною арматурою, що дає можливість виконувати подачу гарячої води з котла-утилізатора як в теплообмінник (бойлер) мережі теплофікації, так і в контур системи виробітку електроенергії, що може бути обумовлене як сезонними вимогами експлуатації, так і регіональними особливостями розміщення теплоенергетичної установки. Таке конструктивне рішення системи виробітку тепла зумовлює її подвійне призначення, тобто забезпечує подачу утилізованої теплоти в мережу теплофікації і ефективну роботу системи виробітку електроенергії, що підвищує ефективність теплоенергетичної установки в цілому.

Конструктивна особливість установки, яка полягає в тому, що замкнутий контур її системи виробітку електроенергії містить багатоступеневу, наприклад триступеневу, систему випаровування низькокиплячої вуглеводневої суміші гарячою водою, теплообмінник-рекуператор для попереднього підігріву конденсату гарячими парами вуглеводневої суміші, що виходять з паротурбінного приводу перед подачею їх в систему конденсації, водяний конденсатор пари робочого середовища, який створює з теплообмінником-рекуператором єдиний модуль і який може бути забезпечений пристроєм для розгазовування

сконденсованого робочого середовища і виведення його несконденсованих компонентів, забезпечує високу ефективність підготовки робочого середовища і стабільність його параметрів на вході в паротурбінний двигун, можливість регулювання параметрів робочого середовища з урахуванням відбору частини виробленої теплоти на потреби теплофікації.

Наявність пристрою для накопичення і розгазовування сконденсованого робочого середовища перед подачею його в теплообмінник-рекуператор і регульованого виведення несконденсованих компонентів газоподібної вуглеводневої суміші підвищує ефективність і надійність роботи конденсатної насосної установки, оскільки наявність розчиненого в конденсаті газу погіршує експлуатаційні характеристики насоса.

Виконання першого ступеня триступеневої системи випаровування низькокиплячої вуглеводневої суміші у вигляді додаткового підігрівача робочого середовища після кожухотрубчастого теплообмінника-рекуператора, оснащення другого ступеня теплообмінником - випарником з показником рівня рідкої фази, а також наявність в третьому ступені системи випаровування пароперегрівача, завдяки якому досягаються робочі параметри пари робочого середовища на вході в паротурбінний привод утилізаційного електрогенератора, забезпечує ефективну роботу системи випаровування робочого середовища і необхідний обсяг регулювання параметрів пари перед турбіною з урахуванням відбору частини теплоти на потреби теплофікації.

Конструктивне рішення системи управління і регулювання параметрів теплоенергетичної установки, що характеризується тим, що в її склад входять датчики тиску, температури і витрати, які включені в систему за допомогою контролерів і забезпечують експлуатацію утилізаційного контуру системи виробітку тепла в двох режимах - теплофікаційному і режимі виробітку електроенергії - дає можливість експлуатувати установку в режимі виробітку електроенергії або когенераційному режимі, коли здійснюється вироблення як теплоти, так і електроенергії.

Крім того, той факт, що для регулювання тиску води котел-утилізатор може бути оснащений регулятором тиску з плаваючим поршнем, газова порожнина якого сполучена з трубопроводом подачі газу високого тиску, відібраного від паливного трубопроводу, а рідинна порожнина сполучена з трубним контуром котла-утилізатора, регулятор при цьому оснащений показником рівня, по сигналах якого при включенні приводу регулятора забезпечується необхідний тиск в газовій порожнині регулятора тиску і, відповідно, у водяному контурі котла-утилізатора, дозволяє, при необхідності, змінювати тиск води в трубному контурі котла-утилізатора, що доцільне при зміні температурного режиму випарників робочого середовища в системі виробітку електроенергії.

Розміщення на виході з пароперегрівача датчиків тиску і температури пари дає можливість по їх сигналах забезпечувати регулювання тиску і витрати гарячої води в контурі котла-утилізатора відповідно до алгоритму управління установкою при зміні режимів її експлуатації, а також регулювання витрати води в системі випаровування і кожухотрубчастому теплообміннику, що забезпечує підігрів води в мережі теплофікації.

Конструктивні особливості і робота установки можуть бути проілюстровані на Фіг. на якій представлена принципова схема теплоенергетичної установки по передбачуваному винаходу.

Її основними елементами є: система виробітку теплоти, що включає газотурбінний модуль 1 і утилізаційний контур 2, який забезпечує подачу теплоти як в мережу теплофікації, так і в систему виробітку електроенергії, що включає систему випаровування 3 низькокиплячої вуглеводневої суміші, яка складається з підігрівача 4, випарника 5, пароперегрівача 6; паротурбінний модуль 7, до складу якого входить парова турбіна 8, редуктор 9, який встановлюється в тих випадках, коли частота обертання турбіни вища за частоту обертання електрогенератора 10. Утилізаційний контур системи виробітку теплоти включає також кожухотрубчастий теплообмінник 11 і систему конденсації пари низькокиплячого робочого середовища 12, що складається із пристрою для збору конденсату 13, конденсатора 14 і контуру охолоджуючої води, оснащеного градирнею 15. Крім того, установка забезпечена насосами: 16 для циркуляції води в утилізаційному контурі, подачі конденсату 17 і подачі охолоджуючої води 18, арматурою з пневмоприводами 19, 20, 21, 22, 23, 24 для управління газовими і рідинними потоками в трубних контурах, а також елементами автоматичної системи управління 25, 26, 27, які забезпечують узгодження режимів роботи паротурбінного модуля, а також системи виробництва тепла і випарного контуру системи виробітку електроенергії установки.

Основним елементом пропонованої установки є газотурбінний модуль 1, на вході у повітряний приймальний тракт якого встановлений теплообмінник типу «повітря-повітря» 28 для охолодження імпульсного повітря, відібраного від компресора 29 високого тиску газогенератора ГТД. Подача паливного газу в камеру згоряння 30 газогенератора здійснюється по лінії, забезпеченій трубопроводом для відбору і подачі газу в газову порожнину регулятора тиску 31, рідинна порожнина якого підключена до утилізаційного контуру 2. Вихлопні гази після турбіни 32 газогенератора і силової турбіни 33, яка через редуктор 34 приводить в дію генератор 35, поступають у вихлопну шахту, що має перепускну систему регулювання і витрати вихлопних газів, і в котел-утилізатор 36 для нагрівання води. Відповідно до вимог експлуатації, гаряча вода може циркулювати по двох контурах. При закритій засувці 21 і відкритій засувці 22 вода поступає в кожухотрубчастий теплообмінник 37, який забезпечує роботу мережі теплофікації. При необхідності роботи паротурбінного енергетичного модуля (літній режим), вода з котла-утилізатора 36 через відкриту засувку 21 при закритій засувці 23 поступає в пароперегрівач 6, випарник 5 і підігрівач 4 конденсату, а потім при відкритому 3-ходовому крані 23 подається насосом 16 в котел-утилізатор 36. Режимні параметри утилізаційного контуру 2 по тиску і температурі задаються параметрами мережі теплофікації або паротурбінного модуля 7 і встановлюються по сигналах датчиків і командах контролерів системи управління і регулювання 25, 26, 27.

Вихідний патрубок парової турбіни 8 є підключеним до кожухотрубчастого теплообмінника 11 для попереднього підігріву конденсату, який подається на вхід цього теплообмінника з системи конденсації 12 після розгазовування в пристрої для накопичення конденсату 13 насосною установкою 17. Скидання газів, що не сконденсувалися, на свічку із пристрою для накопичення конденсату 13 здійснюється через засувку 38.

Даний винахід може бути поширений не тільки на енергетичні установки, але і на компресорні агрегати з газотурбінним приводом, що працюють у складі компресорних станцій газової і нафтової промисловості. В цьому випадку, замість генератора встановлюється турбокомпресор для транспорту вуглеводневого газу.

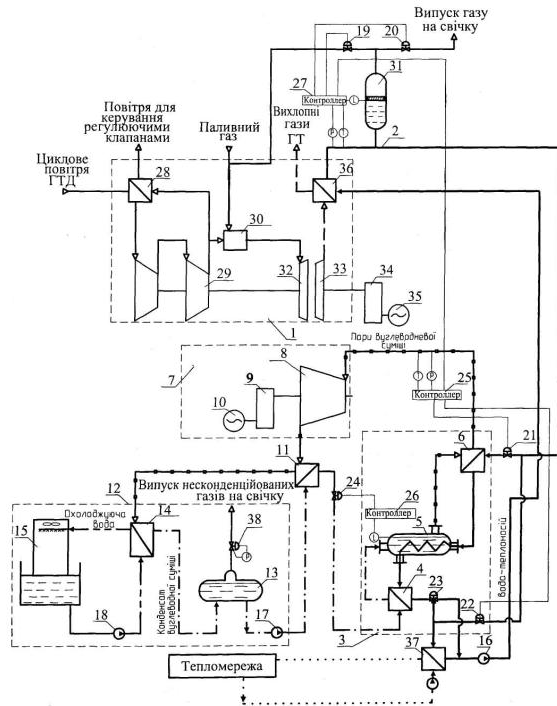


Fig.