Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя

Електромеханічний факультет

Кафедра енергозбереження та енергетичного менеджменту

Курсова робота

з курсу

"Технічна термодинаміка"

На тему: Розрахунок термічного коефіцієнта корисної дії регенеративного циклу паротурбінної установки

Тернопіль 2010

Зміст

електроенергія паротурбінний регенеративний термічний

Реферат

Вступ

1. Теоретична частина

1.1 Цикли паротурбінних установок

1.2 Цикли Карно для водяної пари

1.3 Цикл Ренкіна

1.4 Вплив основних параметрів пари на термічний ККД

1.5 Регенеративний цикл паротурбінної установки

2. Розрахункова частина

2.1 Завдання

2.2 Розрахунок конкретної установки згідно варіанту

Висновок

Література

Календарний план

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Назва етапів курсового проекту ( роботи ) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітки |
| 1 | Теоретична частина: |  |  |
| а) | принципова схема та цикл Карно паросилової (паротурбінної) установки; графічне пояснення, розрахунок роботи насиченої водяної пари при розширенні в турбіні та роботи компресора; обґрунтування економічної невигідності (недоцільності) циклу |  |  |
| б) | принципова схема та зразковий (ідеальний, теоретичний) цикл Ренкіна паросилової установки, перевага насоса (помпи) порівняно з компресором; графічне пояснення, розрахунок термічного ККД, питомих роботи пари, витрат пари та теплоти; розрахунок дійсної (реальної) питомої роботи розширення пари; |  |  |
| в) | принципова схема регенеративного циклу Ренкіна паросилової установки; графічне пояснення, розрахунок часток пари у відборах, термічного ККД та питомої витрати пари; техніко-економічні преваги відносно звичайного (простого) циклу Ренкіна. |  |  |
| 2. | Розрахункова частина  У паротурбінній установці здійснюється регенеративний підігрів живильної води в двох змішувальних підігрівниках (рисунок). При вході в турбіну тиск пари , температура . Тиск пари в першому відборі , у другому , в конденсаторі . Визначити збільшення термічного ККД циклу порівняно з циклом Ренкіна. |  |  |

Реферат

Дана курсова робота містить 2 розділи, 9 малюнків, 28 формул і 9 використаних першоджерел.

Метою курсової роботи є підвищення ефективності паротурбінних установок шляхом удосконалення внутрішньої регенерації теплоти відпрацьованих у паровій турбіні, розробка рекомендацій по створенню схем ПТУ, що мають максимальний ККД і забезпечують мінімальне забруднення навколишнього середовища.

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Парогенератор, пара, паротурбінна установка, регенеративний цикл, коефіцієнт корисної дії.

Вступ

В даний час переважна частина електроенергії виробляється на теплових електростанціях за допомогою паротурбінних установок з використанням водяної пари. Теплова паротурбінна електростанція (ТПЕС), теплова електростанція, на якій для приводу електричного генератора використовується парова турбіна (ПТ). Основне призначення ТПЕС, як і будь-якої електростанції, – виробництво електричної енергії. Необхідний для ПТ пар виробляється в парогенераторі. Використання пари з високими параметрами (тиском і температурою) збільшує питому роботу пари, зменшує витрату пари, тепло і палива, тобто збільшує ККД (коефіцієнт корисної дії) ТПЕС. Як живильна вода для парогенераторів використовують конденсат відпрацьованої в турбіні пари, пором регенеративних відборів турбіни, що підігрівається. Сучасні ТПЕС працюють по термодинамічному циклу, основою якого служить цикл Ренкіна водяної пари. Необхідний тиск пари забезпечується подачею в парогенератор відповідної кількості що підлягає перетворенню на пару води (за допомогою живильного насоса). Потрібна температура пари досягається його перегрівом в пароперегрівачі парогенератора; в той же час виробляється проміжний перегрів пари: пару з проміжного рівня турбіни відводять в котельну для повторного перегріву, а потім направляють в наступний рівень турбіни. Турбоагрегат і пором, що забезпечує його, парогенератор з їх допоміжним устаткуванням і трубопроводами пари і води утворюють енергоблок ТПЕС. Економічність енергозбереження електростанції характеризується величиною розрахункових питомих витрат на виробництво  електроенергії. Розрахункові питомі витрати визначаються одноразовими (за роки будівництва станції) капіталовкладеннями, а також щорічними витратами виробництва з моменту введення устаткування в експлуатацію і на ТПЕС.

1. Теоретична частина

1.1 Цикли паротурбінних установок

В даний час переважна частина електроенергії виробляється на теплових електростанціях за допомогою паротурбінних установок з використанням водяної пари. Принципова схема паротурбінної установки показана на рис. 1, її робота здійснюється наступним чином. При згорянні палива в точці парогенератора 1 утворюються газоподібні продукти згоряння, теплота яких передається потім воді і пару через металеву стінку труб.

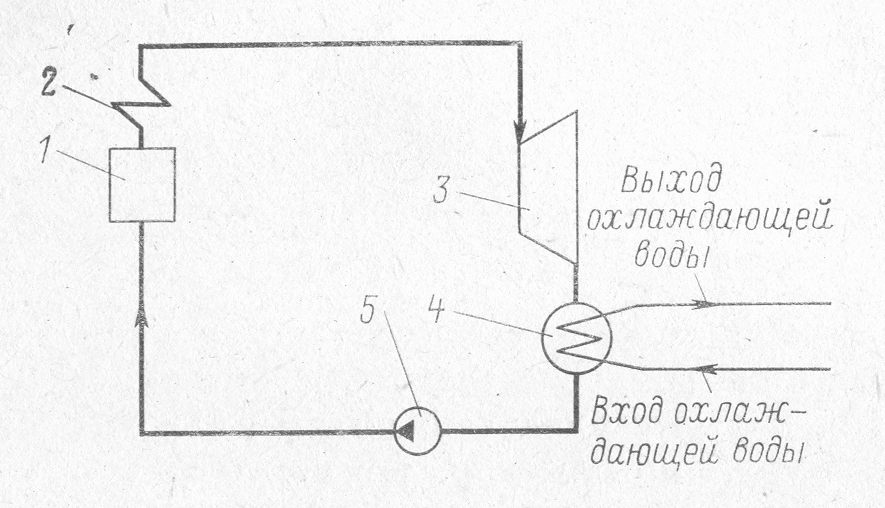


Рис. 1. Принципіальна схема паротурбінної установки.

Вода підігрівається до кипіння і переходить в насичену пару, яка при русі через пароперегрівач 2 підсушується і перегрівається. Перегріта пара направляться в парову турбіну 3, де її теплота переходить в механічну роботу обертання ротора турбіни. В електричному генераторі, що сидить на одному валу з турбіною, механічна робота переходить в електричну енергію. Після турбіни відпрацював пар з низьким тиском поступає в конденсатор 4, через який прокачується охолоджуюча вода. Тут пара віддає теплоту воді і конденсується. Конденсат відкачується насосом 5, знову подається в парогенератор і цикл повторюється.

1.2 Цикли Карно для водяної пари

На рис. 2 в координатах – зображений теоретичний цикл Карно насиченої водяної пари.

Установка, що працює за циклом Карно, повинна складатися з парогенератора, парової турбіни, компресора й конденсатора. Ізобарно-ізотермічний процес  здійснюється в парогенераторі, в якому за рахунок підводиться тепла кипляча рідина стану  переходить в суху насичену пару стану видання . Отримана пара по адіабати  розширюється в турбіні і здійснює роботу, яка на діаграмі зображується пл.  і визначається за формулою

|  |
| --- |
| (1) |

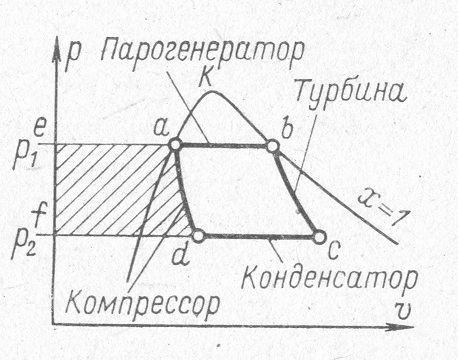


Рис. 2. Цикл Карно для сухої насиченої пари

Відпрацьована пара надходить у конденсатор, де здійснюється часткова конденсація внаслідок віддачі теплоти охолоджуючої воді при постійних температурі і тиску по лінії . Волога насичена пара стану  надходить у компресор, стискується по адіабати  і знову переходить в рідину стану , яка подається в парогенератор і цикл повторюється. Робота компресора на рис. 2 зображується заштрихованої пл.  і визначається за рівнянням:

|  |
| --- |
| (2) |

У сучасних паротурбінних установках тиск у конденсаторі підтримується в інтервалі  тому питома обсяг вологої пари  поступає в компресор, у багато разів перевищує обсяг рідини. У зв'язку з цим компресор виходить громіздким і на нього витрачається велика кількість металу. Крім того, на стиск вологої пари витрачається надмірно велика робота, складова значну частину роботи, яку здійснюють порою в турбіні.

Розрахунки показують, що якщо паротурбінна установка буде працювати в межах від  в парогенераторі до  в конденсаторі, то теоретична робота компресора складає близько  роботи пари в турбіні. Практично внаслідок ряду втрат на привід компресора витрачається ще більша робота.

На підставі вищевикладеного здійснення циклу Карно в паротурбінних установках важко і економічно невигідно, тому на практиці він не застосовується.

1.3 Цикл Ренкіна

Теоретичним циклом паротурбінних установок є цикл – Ренкіна. Його основна відмінність від циклу Карно полягає в тому, що в конденсаторі здійснюється повна конденсація пари, що надходить з турбіни. У зв'язку з цим замість громіздкого компресора застосовується більш компактний насос, в якій внаслідок малої стисливості води витрачається робота у багато разів менше, ніж у компресорі. У паротурбінних установках електростанцій, що працюють по циклу Ренкіна, замість насиченої пари застосовують перегріту, що забезпечує відмінкові умови роботи турбіни і більш високі значення ККД установки.

На рис. 3 зображений теоретичний цикл Ренкіна. для  перегрітої пари в координатах  (схема установки на рис. 1). Внаслідок малої стисливості води процес в насосі зображується ізохорами  причому точка а знаходиться лівіше нижньої прикордонної кривої. Робота стиснення в насосі зображується площадкою , яка заштрихована на діаграмі.

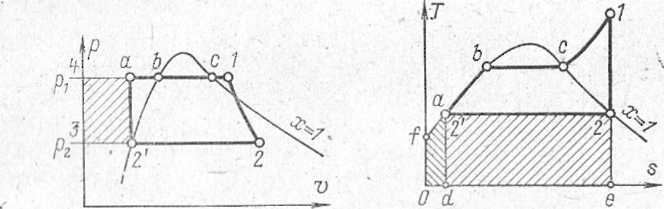


Рис. 3,4. Цикл Ренкіна для перегрітої пари в  і –діаграмах

Ізобаричний процес  здійснюється в парогенераторі, причому ділянка  відповідає підігріву води до кипіння, ділянка  – пароутворення і ділянка  – перегріву пари в пароперегрівачі.

Процес  є адіабатного розширення пари в турбіні, а чинена робота є наявна робота, вона дорівнює різниці ентальпій  – зображується площею 1234, а корисна робота пари в циклі зображується площею 

Ізобарно-ізотермічний процес  протікає в конденсаторі, де відпрацював пар повністю конденсується; стан конденсату визначається точкою , яка знаходиться на нижній прикордонної кривої.

Зобразимо цикл Ренкіна в координатах  як це показано на рис. 4. Тут точка а суміщена з точкою , тому що при стисканні води в насосі її температура і ентропія практично не змінюються, а ізобар підігріву води співпадає з нижньою прикордонної кривою. У цій діаграмі окремі площі зображують: пл.  – ентальпію перегрітого пара  стану 1; пл.  – ентальпію відпрацьованої пари стану 2 при вході в конденсатор і2; пл.  — ентальпію конденсата стану  після конденсатора  Теплота  сообщенная пари в парогенераторі по ізобару , зображується пл.  і визначається за рівнянням

|  |
| --- |
| (3) |

Теплота  віддана охолоджуючі воді в конденсаторі по ізобарі 2–2', зображується пл.  і визначається за рівнянням

|  |
| --- |
| (4) |

При низьких і середніх початкових тисках пари робота насоса незначна і зазвичай її не беруть до уваги, тому термічний ККД циклу Ренкіна можна знайти за рівнянням

|  |
| --- |
|  |

або остаточно

|  |
| --- |
| (5) |

Отже, робота  пари, зображувана пл.  дорівнює різниці ентальпій адіабатного розширення пари в турбіні

|  |
| --- |
| (6) |

Крім термічного ККД при різних теплових розрахунків визначають питома витрата пари і теплоти на одиницю роботи.

В паросилових установках, як одиниця роботи використовується позасистемна одиниця кіловат годину  тепловий еквівалент якого дорівнює  Тому при вимірюванні ентальпії пари в  питома витрата її в  можна визначити за рівнянням

|  |
| --- |
| (7) |

а питома витрата теплоти в  – за формулою

|  |
| --- |
| (8) |

При вимірюванні ентальпії пари в відповідно отримаємо:

в 

|  |
| --- |
| (9) |

і в 

|  |
| --- |
| (10) |

де  – тепловий еквівалент 

Дійсний процесс розширення пари внаслідок тертя в соплах і на лопатках турбіни та інших внутрішніх втрат є незворотнім процесом і супроводжується збільшенням ентропії. Робота тертя переходить в теплоту, яка передається парі, і її ентальпія в кінцевому стані зростає. Адіабатний процес зображується лінією  а дійсний процес – похилій лінією  яка є умовним графіком цього процесу. Дійсна робота  пари дорівнює:

|  |
| --- |
|  |

а теоретична

|  |
| --- |
|  |

Причому

|  |
| --- |
|  |

Ставлення дійсної роботи  до теоретичної  характеризує внутрішні втрати в турбіні, називається внутрішнім відносним ККД і позначається 

|  |
| --- |
| (11) |

Ставлення дійсної роботи пари в турбіні до підведення тепла  називається абсолютним внутрішнім ККД і позначається  причому

|  |
| --- |
| (12) |

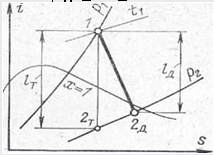


Рис.5. Зображення адіабатних процесів

Помноживши і розділивши рівняння (9-12) на теоретичну роботу циклу  після перетворень отримаємо:

|  |
| --- |
| (14) |

1.4 Вплив основних параметрів пари на термічний к. к. д. циклу Ренкіна

Термічний к. к. д. циклу Ренкіна за рівнянням (5) визначається значеннями ентальпії  і які у свою чергу залежать від тиску  температури пари, що надходить в турбіну і його тиску  в кінці адіабатні розширення.

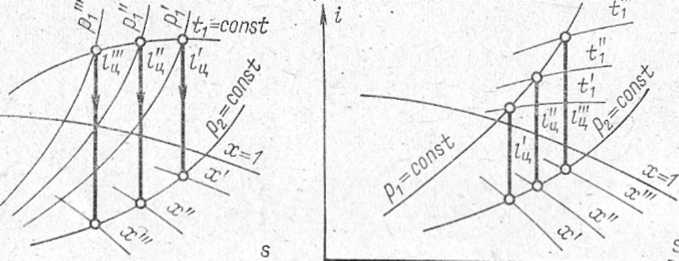


Рис.6, 7. Збільшення роботи і степеня сухості пари циклу Ренкіна.

Розглянемо вплив кожного з параметрів – ,  і  – на термічний ККД У  діаграмі (рис. 6) показані адіабатні процеси розширення при зростаючій початковому тиску пари  і постійних значеннях  і . Як видно з діаграми, в цьому випадку відбувається збільшення роботи циклу  і зменшення початкової ентальпії пари  У відповідності з рівнянням (5) термічний ККД збільшується. Однак з підвищенням початкового тиску одночасно збільшується кінцева вологість пари  що викликає ерозійний знос лопаток останніх ступенів турбіни і може призвести до аварії. Допустима кінцева вологість пари не може бути більше 

При підвищенні початкової температури  і постійних тисках  і  збільшуються ентальпія пара  і робота циклу , які мають протилежний.

1.5 Регенеративний цикл паротурбінної установки

Регенеративним циклом паротурбінної установки зазвичай називається такий цикл, у якому здійснюється підігрів живильної води за рахунок теплоти пара, відібраної з різних точок проточної частини турбіни. Пара відбирається з турбіни після того, як вона пройде ряд її ступенів і зробить роботу; при цьому тиск знижується від початкового  до тиску  який підтримується у відборі.

Відбірна пара направляється в підігріви, куда також поступає конденсат або живильна вода. Тут в результаті теплообміну пара конденсується, а вода нагрівається і потім подається в парогенератор. Конденсат відбірної (грітої) пари також поступає в парогенератор.

Для підігріву води застосовуються поверхневі і змішуючі підігрівачі, які називаються регенеративними підігрівачами. У змішувальних подогревателях вода нагрівається до температури кипіння в результаті змішування води і конденсату пари, в поверхневих подогревателях вода не догріває на  до температури кипіння, так як теплообмін між парою і водою відбувається через їх розділяє поверхню труб.

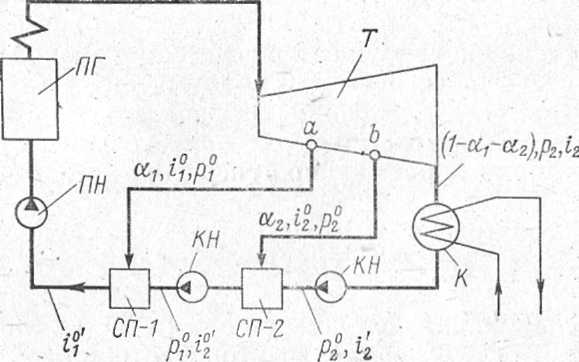


Рис.7. Принципова схема паротурбінної установки з двох змішувальних регенеративними підігрівачами: ПГ – парогенератор, Т – турбіна, К – конденсатор, КН – конденсаційні насоси, ЗП – змішувальні підігрівники, ЖН – живильні насоси,  – частка пари, що поступає в -й відбір, "'" – конденсат)

Економічно доцільно підігрівати живильну воду послідовно в декількох підігрівів, кількість яких встановлюється техніко-економічним розрахунком. Число і місця відборів пари залежать від багатьох факторів і в першу чергу від початкових параметрів пари (), потужності установки і кінцевої температури підігріву живильної води.

У сучасних потужних паротурбінних установках підігрів живильної води здійснюється в регенеративних підігрівах поверхневого типу, кількість яких може доходити до десяти.

Розглянемо особливості регенеративного циклу стосовно паротурбінної установки з двома змішувальних підігрівачами, схема якої зображена на рис. 11. Процеси в установці протікають наступним чином. З парогенератора  перегріта пара з тиском  і температурою  надходить у турбіну .

Тут одна частина пара розширюється до тиску  поступає в перший відбір (точка ) і направляється в змішуючий підігрівач . Інша частина пара розширюється до більш низького тиску і поступає в другий відбір (точка ), звідки направляється в змішуючий підігрівач . Основна (третя) частина пари проходить всі ступені турбіни, розширюється до кінцевого тиску  і надходить у конденсатор , де повністю конденсується. Конденсат, що утворюється, званий основним, послідовно прокачується конденсатними насосами  через змішуючі підігрівачі  і . У кожному з них основний конденсат змішується з конденсатом добірної пари і східчасто підігрівається до температури кипіння, відповідної тискам відборів  і  Після підігрівачів нагріта вода живильним насосом  подається знову в парогенератор, чим і закінчується цикл.

Для дослідження та розрахунку основних характеристик регенеративного циклу застосовуються такі позначення:

частка пари, що надходить у перший відбір; частка пари, що надходить у другій відбір;  частка пари, що надходить в конденсатор. Параметри пари, що надходить в турбіну: тиск  температура  і ентальпія  Параметри пари першого відбору: тиск  температура  ентальпія  ентальпія її конденсату 

Параметри пари другого відбору: тиск , температура  ентальпія  ентальпія її конденсату  Параметри пари при вході в конденсатор: тиск , ентальпія  ентальпія її конденсату 

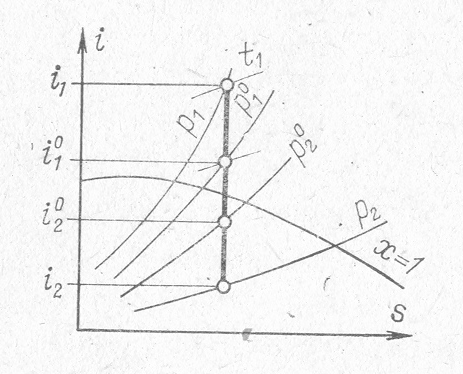


Рис.8. Адіабатний процес розширення пари в регенеративному циклі

Процес розширення пари в турбіні вважається оборотньо адіабатним; гідравлічні і теплові втрати трубопроводів відбірної пари і теплові втрати підігрівачів не приймаються до уваги, робота насосів не враховується. При вказаних умовах стан пари в  діаграмі знаходяться як точки пересічення відповідних ізобар і адіабати розширень (рис. 8). Ентальпії пари знаходяться безпосередньо з діаграми; ентальпії конденсату – за допомогою таблиць водяної пари. Кількість пари, що надходить в підігрівачі з відборів турбіни, знаходять з теплового балансу підігрівачів. Складемо ці теплові баланси і знайдемо відповідні частки  і 

Підігрівач . У цей підігрівач з конденсатора надходить  води, з другого відбору  пари і виходить  води. З огляду на раніше прийняті позначення, складемо рівняння теплового балансу (рис. 11):

|  |
| --- |
| (15) |

звідки після перетворень отримаємо:

|  |
| --- |
| (16) |

Підігрівач . У цей підігрівач з першого відбору надходить  пара, з підігрівача  конденсату і виходить  води (рис. 9-11). Відповідно до прийнятих позначеннями тепловий баланс підігрівача виражається рівнянням

|  |
| --- |
| (17) |

Звідки

|  |
| --- |
| (18) |

Після підігрівача  вода з ентальпією  надходить у парогенератор і перетворюється там в перегріту пару. Кількість теплоти, витраченої в парогенераторі для отримання  перегрітої пари, складає:

|  |
| --- |
| (19) |

що менше, ніж у циклі Ренкіна.

Кількість теплоти, відданої в конденсаторі охолоджуючої воді, на  пари, що надходить у турбіну, знайдемо з рівняння

|  |
| --- |
| (20) |

що теж менше, ніж у циклі Ренкіна.

Термічний ККД регенеративного циклу виражається рівнянням

|  |
| --- |
| (21) |

Робота  пари в розглянутому регенеративному циклі може бути визначена наступним чином. Частина пари, яка надходить у перший відбір при нижчому тиску від  до  здійснює роботу

|  |
| --- |
| (22) |

Інша частина пари, розширюючись між початковим тиском  і тиском відбору , здійснює роботу

|  |
| --- |
| (23) |

Залишина основна частина проходить через всю турбіну, розширяється і понижує тиск від початкового  до кінцевого  робота цієї частини пари рівна:

|  |
| --- |
| (24) |

Сумарна робота трьох потоків є робота  пари, тому

|  |
| --- |
| (25) |

Після перетворень рівняння (9-27) приводиться до вигляду

|  |
| --- |
| (26) |

З порівняння рівнянь (6) і (28) видно, що за одних і тих же початкових і кінцевих параметрах робота  пара в циклі Ренкіна  більше, ніж у регенеративного циклу, т. е. 

Використовуючи рівняння (28) і (21), отримуємо інший вираз для визначення термічного к. к. д. регенеративного циклу:

|  |
| --- |
| (27) |

Таким чином, при здійсненні регенеративного циклу витрата теплоти в парогенераторі  і робота  пари будуть менше, ніж у циклі Ренкіна. Однак теплота  зменшується більш інтенсивно, ніж робота, і тому термічний к. к. д. регенеративного циклу завжди більше, ніж у циклі Ренкіна. Економічність регенеративного циклу підвищується зі збільшенням початкових параметрів пари , і числа відборів; термічний ККД циклу може бути на  вище, ніж у циклі Ренкіна.

Питома витрата пари може бути визначений з виразу

|  |
| --- |
| (28) |

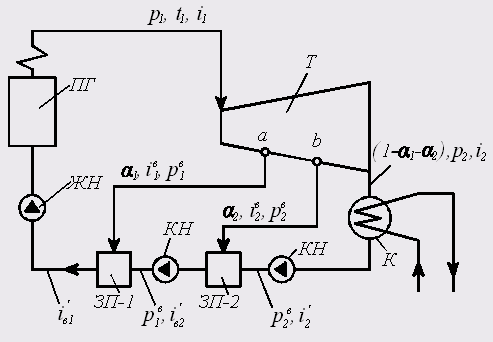
оскільки  то питома витрата пари буде більше, ніж у циклі Ренкіна.

На завершення слід зазначити, що застосування регенеративного підігріву води не тільки підвищує термічний ККД, але. і має великий вплив на конструктивне виконання основних агрегатів паротурбінної установки.

2. Розрахункова частина

2.1 Завдання

У паротурбінній установці здійснюється регенеративний підігрів живильної води в двох змішувальних підігрівниках (рисунок). При вході в турбіну тиск пари , температура . Тиск пари в першому відборі , у другому , в конденсаторі . Визначити збільшення термічного ККД циклу порівняно з циклом Ренкіна.



2.2 Розрахунок конкретної установки згідно варіанту

За допомогою діаграми (див. рис.) і таблиць знаходим ентальпію пари і конденсата для характерних точок цикла. При вході в турбіну перший відбір: для пари  для конденсата  другий відбір: для пари  для конденсата  конденсатор: для пари  для конденсата 

Частки пари, надходять у відбори

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
|  |

Термічний к.к.д. регенеративного цикла

|  |
| --- |
|  |

Для цикла Ренкіна

|  |
| --- |
|  |

збільшення ККД складє:

|  |
| --- |
|  |

Висновок

Регенеративний підігрів живильної води сьогодні застосовують на всіх ПТУ електростанцій. Потоки пари, що відводяться з турбіни у змішувальні підігрівники (ЗП), виконують роботу без втрат у К. При цьому для заданої електричної потужності ПТУ витрата пари через К зменшується, а ККД ПТУ зростає. У реальних ПТУ через РП проходить не весь потік пари, а лише його частина, див. рис. При такій схемі витрата пари через турбіну від відбору до відбору зменшується.

Ефективність регенеративного підігріву пари залежить від відношення роботи всіх потоків пари, що відведені з турбіни, до роботи потоку, що проходить через конденсатор.

Конденсаційні паротурбіни установки мають розвинену систему регенеративного підігріву живильної води, що сприяє підвищенню потужності турбіни й економічності ПТУ загалом (економія палива сягає  і більше порівняно з турбінами без регенерації).

Економічність ПТУ можна також підвищити збільшенням початкових параметрів пари ( і ). Однак з підвищенням початкового тиску  точка 2 в  – діаграмі зміщається в її ліву область, тобто вологість пари зростає (при цьому ступінь сухості падає ) вище припустимих норм вологості.

Література

1. Арнольд Л.В. Техническая термодинамика и теплопередача / Л.В. Арнольд, Г.А. Михайловский, В.М.

Селиверстов. – М.: Высш. шк., 1979. – 446 с.

2. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка / О.Ф. Буляндра. – К.: Техніка, 2006. – 320 с.

3. Костерев Ф. М. Теоретические основы теплотехники / Ф. М. Костерев, В. И. Кушнырев. – М.: Энергия, 1968. – 360 с.

4. Кузовлев В.А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / В.А. Кузовлев. – М.: Высш. шк., 1975. – 303 с.

5. Андрющенко А. И. Основы термодинамических циклов теплоэнергетических установок / А. И. Андрющенко. – М.: Высш. шк., 1968. – 288 с.

6. Рабинович О. М. Сборник задач по технической термодинамике / О. М. Рабинович. – М.: Машиностроение, 1969. – 376 с.

7. Сборник задач по технической термодинамике / Под ред. М.П. Вукаловича. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 200 с.

8. Теплофизические измерения и приборы / Под ред. Е.С. Платунова. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.

9. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче / Под. ред. В. И. Крутова и Е.В. Шишова. М.: Высш. шк., 1988. – 216 с.