

TYPES OF STEAM TURBINES AND THEIR CHARACTERISTICS¹³

Eng. Ivan Petrov - PhD Student

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

University of Ruse "Angel Kanchev"

Tel.: 082 -888-304

E-mail: ivpetrov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Plamen Mushakov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

"Angel Kanchev" University of Ruse

Phone: 082-888 304

E-mail: ivpetrov@uni-ruse.bg, pgm@uni-ruse.bg

Abstract: *This work examines the types of steam turbines used in modern thermal power plants. Some of their characteristics are examined and analyzed in relation to ensuring maximum energy efficiency.*

Technological, system and operational shortcomings are identified, the elimination of which in the initial stage of implementation contributes to improving the technical and economic indicators and improving the operational characteristics of the equipment.

Keywords: *steam turbines, energy efficiency*

ВЪВЕДЕНИЕ

До края на миналия век превръщането на топлинната енергия в механична работа се е осъществявало чрез буталните машини. В парната машина имаме превръщане на потенциалната енергия на парата в механична работа. Особена характеристика на тези парни машини, е че за всяка отделна порция прясна пара, постъпила в цилиндъра на машината, се извършва отделен затворен кръгов процес. С други думи, на лице е периодичност в процесите на превръщане на енергията на парата в механична работа. От друга страна наличието на коляно - мотовилков механизъм в парната машина ограничава скоростта на топлинните процеси протичащи в машината. Това е втората характерна черта на бутален парен двигател. С развитието на промишленото производство тези характеристики стават препятствие, защото нуждите от по-големи мощности и по-скоростни технологии е забавено от тях. Стигнали се е до необходимост от замяна на буталният парен двигател с нов тип, в който да могат да се произвеждат значително по-големи мощности, които да бъдат използвани за задвижване на значително по-големите електрически генератори. Този нов тип парен двигател, чрез който в днешно време се получават стотици хиляди мегавати, е парната турбина. Под турбинен двигател се разбира двигател, в който превръщането на топлинната енергия в механична работа се осъществява на два етапа:

1. Потенциалната енергия на парата се превръща в кинетична, в специален дюзов апарат.
2. Кинетичната енергия на парния поток се превръща в механична работа, в лопатъчен апарат, закрепен върху ротора на турбината.

Основни недостатъци на буталния парен двигател: ограничена мощност; ниски обороти; коляно-мотовилков механизъм(предизвиква поява на големи инерционни сили); големи габаритни размери; неравномерен ход. Тези недостатъци са избегнати при парните турбини. Характерни отличителни черти на парната турбина, която представлява ротативен топлинен двигател с непрекъснат работен процес и двукратно превръщане на енергията са следните:

¹³ Докладът е представен на научната сесия на секция „Топлотехника, хидравлика и пневматика“ на 28 октомври 2022 г. с оригинално заглавие на български език: ВИДОВЕ ПАРНИ ТУРБИНИ И ТЕХНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Отсъствие на тежки кинематични връзки между движението на работното тяло (парата) и частите на двигателя. От големината на свободния обем зависи количеството на работното тяло, което ще постъпи в двигателя, тъй като мощността е пропорционална на тегловния разход на работното тяло. При буталните машини увеличаването на мощността е свързано с рязко нарастване на габаритните размери. При буталните машини скоростта на буталото достига 10 m/s, при турбините тя е 150 m/s. От което следва, че турбината ще бъде 15 пъти по-мощна от парен бутален двигател.

- Голяма бързоходност. Периферната скорост на работните лопатки, разположени върху ротора на турбината се намира в определено отношение с абсолютната скорост на парата която протича през турбината (при активна турбина тя е около 0,5, при реактивна е 1). Следователно характерната черта бързоходност се получава от високите обороти.

- Голяма икономичност. Това се дължи на обстоятелството, че работната пара може да се разшири до значително ниско налягане (до 0,03 bar). По този начин се използва максимално разполагаемата енергия, т.е. се намаля специфичния разход на прясна пара(kg/kWh).

- Сравнително проста конструкция. При парните турбини има въртеливо движение на ротора около постоянна подвижна ос.

ИЗЛОЖЕНИЕ

I. Класификация на парните турбини:

1. Според принципа на действие.

- Активни парни турбини. При тях потенциалната енергия на парата се превръща в кинетична в неподвижен дюзов апарат закрепен в корпуса на турбината. Всички степени на съвременните активни парни турбини работят с известна степен на реактивност, т.е. част от топлинния пад на степенята се преработва в работните лопатки. С това се цели повишаване на КПД.
- Реактивни парни турбини. При тях 50 % от топлинния пад се преработва в дюзовия апарат, а останалите 50 % в работните лопатки, т.е. при тези турбини степенята на реактивност в отделните степени е 50 %.

2. Според посоката на парния поток.

- Аксиални парни турбини. При тях парния поток в турбината протича успоредно на оста на същата.
- Радиални парни турбини. В този тип турбини парния поток протича перпендикулярно на оста.
- Радиално-аксиални турбини. Тук парния поток протича както в осево, така и в радиално направление спрямо оста.

3. Според броя на степените.

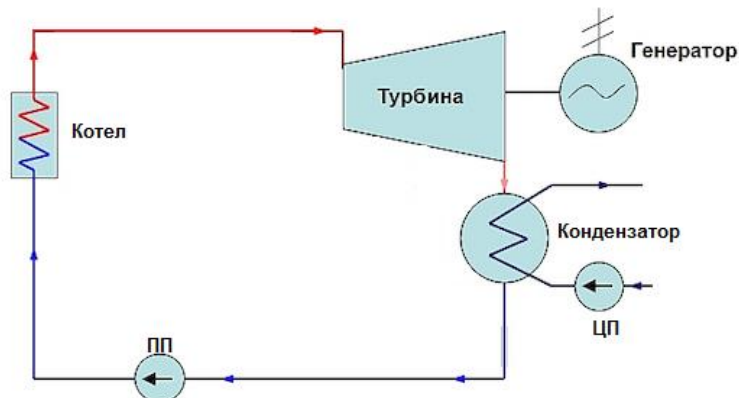
- Едностепенни турбини - с една степен на налягане и няколко степени на скорости.
- Многостепенна турбина

4. В зависимост от топлинния процес

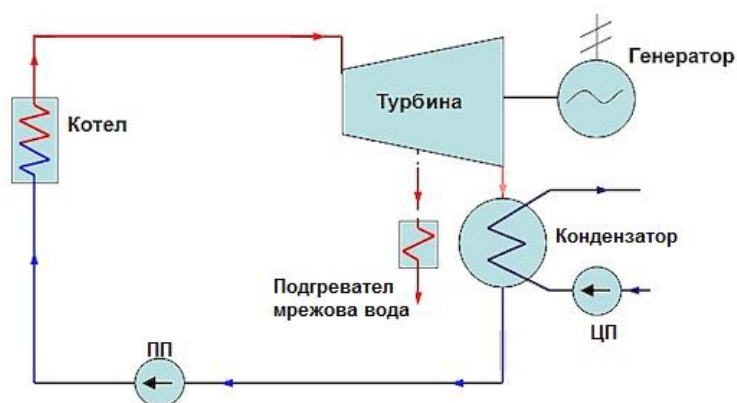
- Кондензационна турбина (фиг. 1). При тях цялото количество прясна пара постъпило в турбината, постъпва като отработена пара в кондензатора
- Парни турбини с регулируемо пароотнемане (фиг. 2). При този тип турбини част от парата се отнема при дадено налягане и се използва за промишлени или отоплителни цели. Останалата пара постъпва в кондензатора. Всички турбини с регулируеми пароотбори могат да работят в кондензационен режим.
- Турбини с противоналягане. Тези турбини подават парата към консуматори преди да се е разширила до атмосферно налягане. Характерно за тези турбини, е че с намаляване на количеството пара подавано към топлинните консуматори намалява и мощността на турбината, тъй като топлинния пад се запазва постоянен.
- Предвключени турбини. Често пъти в централите са монтирани турбини с противоналягане наречени още предвключени. Отработената от тях пара се доразширява в турбини работещи под вакуум (топлинния консуматор от

предходната точка е последваща турбина работеща в кондензационен режим за повишаване КПД).

- Турбини работещи с отработена пара. Често пъти в големи обекти, които използват парни машини, парни чукове, преси и др., с високо налягане, отработената пара постъпва в кондензационна парна турбина, която е изчислена за работа с отработена пара.



Фиг. 1. Принципна схема на турбина без пароотнемане



Фиг. 2. Принципна схема на турбина с регулируемо пароотнемане

5. Според начина на регулиране.

- Турбини с дюзово регулиране (количествено). Постъпването на пара в турбината при дюзово регулиране става през регулиращи клапани, които подават пара към групи дюзи
- Турбини с дроселно регулиране (качествено). При този вид регулиране подаването на пара става чрез дроселен клапан, който е напълно отворен при максимална мощност на турбината. При по-малки мощности дроселния клапан е частично отворен. В следствие на това се намалява налягането, а с това и разполагаемия топлинен пад.
- Турбини с байпасно регулиране. Характерно за тях е подаването на прясна пара в междинните степени на турбината, вследствие на което мощности може да бъде повишена.

6. Според предназначението им.

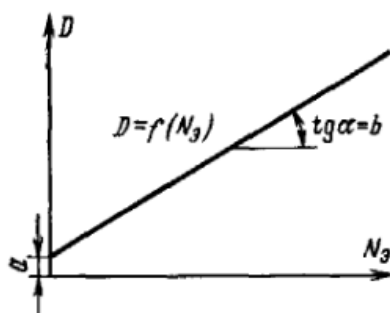
- Стационарни парни турбини. Това са турбини предназначени за задвижване на електрически генератори. Обороти им съответно са 3000 min^{-1} за двуполусен генератор и 1500 min^{-1} за четири полюсен генератор с оглед честотата на електрическия ток да бъде 50 Hz.

- Турбини предназначени за задвижване. Те задвижват големи помпи, компресори, вентилатори и др., работят с променливи обороти и се използват за големи мощности, където ел. двигател би създавал проблеми.
- Корабна парна турбина. Характерно за тези турбини, е че могат да обръщат посоката си на движение заради маневреността на кораба.

II. Характеристики на парните турбини

➤ Енергийни характеристики

Енергийните характеристики на даден енергиен блок са аналитични и графични зависимости на потреблението на пара D , топлина и условно гориво от даден енергиен блок от електрическия товар Ne . Те се използват при изчисляване на техническите и икономическите показатели на енергоблоковете и ТЕЦ-овете, както и при оптимизиране на режимите им на работа.



Фиг. 3 Енергийна характеристика $D = f(Ne)$

➤ Геометрични и газодинамични характеристики

- *абсолютни геометрични характеристики* – хорда на профила, ширина на решетката, ъгъл на профила в решетката, дебелина на изходния ръб на лопатката, височина (дължина) на лопатката на изхода на решетката, среден диаметър на решетката;

- *относителни геометрични параметри* - относително стъпка; относителна височина; относителната дебелина на задния ръб; и др.;

- *газодинамични характеристики* - коефициент на загуба на енергия, коефициент на потока и ъгълът на изтичане от решетката.

➤ Характеристика на парна турбина тип ПТ-60-130/13/1,2

В ТЕЦ Русе е инсталирана парна турбина, кондензационна с два регулируеми пароотбора с номинална мощност 60 MW при 3000 min^{-1} . Турбината е предвидена за задвижване на генератор тип ТВФ-60-2, който е монтиран на една площадка с турбината. При работа в кондензационен режим (т.е. без натоварени пароотбори) турбината има номинален режим 60 MW.

Турбина ПТ-60-130/13/1,2 има следните характеристики:

- Налягане на парата пред автоматичния спирателен клапан (АСК) - 130 bar;
- Температура на парата пред АСК - 555°C ;
- Количество на охлаждащата вода преминаваща през кондензатора (при разчетена температура на входа на кондензатора 20°C) – $8\,000 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Ориентиловъчен разход на пара при пълно натоварване на турбината с включени пароотбори – 387 t/h ;

Турбината има два регулируеми пароотбора. Производствен (технически) пароотбор с налягане 13 bar и топлофикационен пароотбор с налягане 1,2 bar.

Турбината представлява едновален двуцилиндров агрегат. Цилиндър високо налягане (ЦВН) е с едновенечна регулираща степен и 16 степени на налягане. Цилиндър ниско налягане (ЦНН) се състои от две части. Едната е регулираща степен средно налягане с 8 степени на налягане, а част ниско налягане има регулираща степен и 3 степени на налягане. Всички

дискове на ротора при високото налягане са заработени заедно с вала. Първите дискове на ЦНН са заработени с вала, а последните 4 са монтирани. Турбината има лабиринтни (безвтулочни) уплътнения. Дори и при малки промени на ексцентрицета на вала, такава конструкция няма добро уплътнение и води до местни нагрявания, което от своя страна води до поява на вибрации. Турбината е снабдена с валопревъртащо устройство, което завърта вала посредством електродвигател със съединител с честота $3,4 \text{ min}^{-1}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Познаването на устройството, типа на турбината и нейната характеристика са от особено важно значение за правилната и експлоатация и постигането на максимална енергийна ефективност при различните режими на работа.

REFERENCES

Злобин В. Г. Паротурбинные установки тепловых и атомных электростанций. Часть 1. Тепловые схемы. Конструкция: учебное пособие, ВШТЭ СПбГУПТД.-СПб., 2020.

Костюк, А. Г., В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний „Турбинъ Паровые и газовые турбины для электростанций МЭИ 2016 Москва.