

INFLUENCE OF STEAM PARAMETERS ON STEAM TURBINE EFFICIENCY¹³

Engineer Ivan Petrov, PhD Student

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 304

E-mail: ivpetrov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Plamen Mushakov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 304

E-mail: pgm@uni-ruse.bg

Abstract: In this work, the influence of fresh pressure and initial steam temperature, the influence of final pressure and condenser pressure on steam turbine efficiency and thermal efficiency of the cycle are considered. The influence of the intermediate superheat of the steam has been considered and some operating values have been analyzed in relation to ensuring maximum energy efficiency.

A comparison of ideal cycles with different initial steam temperatures in T, s -diagram is given as well as the influence of the available heat drop in reducing the final pressure in the condenser.

Keywords: steam turbines, steam pressure, thermal efficiency, energy efficiency

ВЪВЕДЕНИЕ

Параметрите на парата оказват значително влияние върху ефективността на цикъла на паротурбинния агрегат. Основната цел на термодинамичния анализ е да се открият възможностите за повишаване на топлинната ефективност на цикъла въз основа на нейното аналитично или графично представяне чрез $T-s$ или $h-s$ диаграми изменението на средните температури и налягания в турбината.

ИЗЛОЖЕНИЕ

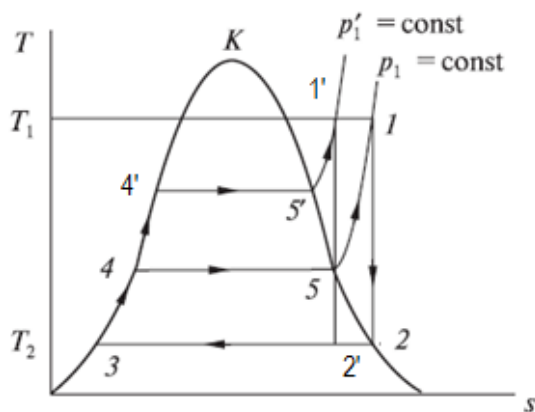
Повишаване на началното налягане на парата преди турбината

Увеличаването на началното налягане на парата p_0 е свързано с увеличаване на температурата на насищане, т.е. нивото, при което се осъществява топлообмен в парогенератора. Както е известно, най-съвършеният термодинамичен цикъл е цикълът на Карно, чийто коефициент на полезно действие е следният $\eta_k = 1 - T_k/T_0$, където T_0 и T_k са температурите на входящата и изходящата топлина. За всеки цикъл, като например цикъла на Ренкин, е възможно да се определи еквивалентната температура на входящата топлина $T_e = (T_0)k$, която ще осигури съответния топлинен к.п.д. η_t

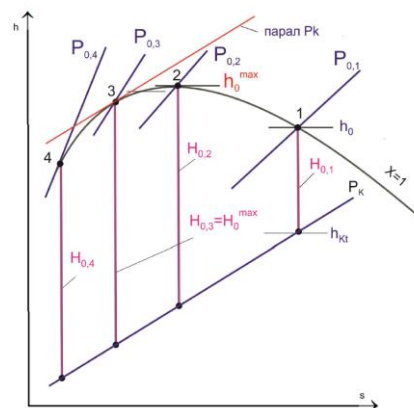
$$T_e = T_k / (1 - \eta_t) \quad (1)$$

Повишаването на температурата T_1 на парата преди турбината е неефективно, тъй като изобарите $p = \text{const}$ вървят доста стръмно нагоре в областта на прегрялата водна пара. За сравнение на фиг. 1 в диаграмата $T-s$ са изобразени два идеални цикъла при начални налягания на парите p_1 и p_1' .

¹³ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Топлотехника, хидравлика и пневматика“ на 27 октомври 2023 г. с оригинално заглавие на български език: ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ПАРАТА ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ПАРНАТА ТУРБИНА



Фиг. 1. Илюстрация на метода за увеличаване на η_t чрез увеличаване на налягането на водната пари преди турбината



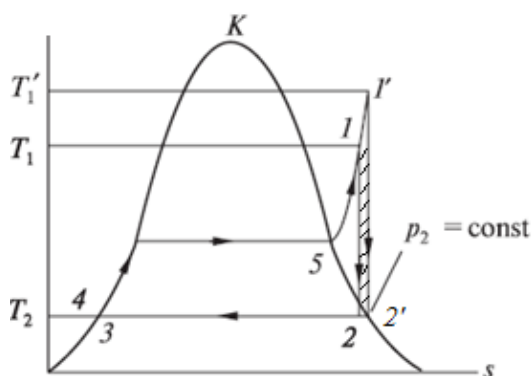
Фиг. 2. Изменение на теоретичния топлинен пад в турбината при увеличаване на началното налягане

В цикъл $1'-2'-3-4'-5-1'$ с повишено начално налягане $p_{1'} > p_1$, подаването на топлина става при по-високо температурно ниво, т.е. $T_{e1'} > T_{e1}$. Следователно този цикъл е по-икономичен от цикъла $1-2-3-4-5-1$. С увеличаване на първоначалното налягане на парите обаче разполагаемия топлинен пад (фиг. 2) първо се увеличава, а след това започва постепенно да намалява. Следователно има оптимално начално налягане на парите в зависимост от еквивалентната температура T_e . Освен това, колкото по-висока е тази температура, толкова по-високо е налягането, при което се постига максимална топлинна ефективност.

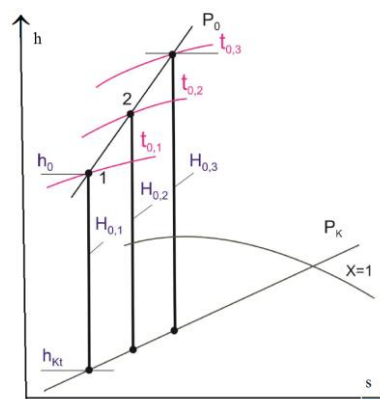
Трябва да се отбележи, че увеличаването на началното налягане на парите при една и съща температура води до увеличаване на влажността в края на процеса на разширяване (Häi-Ping, Hu, 2006), което при равни други условия се отразява отрицателно на надеждността на турбината (увеличава се ерозията на метала) и намалява относителната ѝ вътрешна ефективност.

Повишаване на началната температура на парата преди турбината

Повишаването на температурата на свежата пара води до повишаване на ефективността на топлинния цикъл. Ако сравним, както е показано на фиг. 3, два цикъла, различаващи се само по температурата на прясната пара, лесно ще забележим, че ефективността на цикъла с по-висока начална температура трябва да бъде по-висока.



Фиг. 3. Метод за увеличаване на ефективността чрез увеличаване на температурата T_1 на парата преди турбината



Фиг. 4. Теоретичен процес на разширяване на парата в турбината

Всъщност повишаването на началната температура може да се разглежда като присъединяване към първоначалния топлинен цикъл 1-2-3-4-5 с еквивалентна начална температура T_1 на допълнителен малък цикъл 2-1'-2 (неговата полезна работа е заштрихованата на фиг. 3).

От фиг. 4 се вижда също, че увеличавайки началната температурата, се увеличава и разполагаемия топлинен пад в процеса на разширяване на парата в турбината.

Трудностите, които възникват при повишаване на температурата, се дължат на факта, че стоманите, използвани в съвременната енергетика, губят якост при високи температури, тъй като якостта им на провлачане и на опън рязко спадат, а дългосрочната им якост намалява. Последното обстоятелство води до необходимостта от ограничаване на експлоатационния живот на частите или от използване на скъпи термоустойчиви високолегирани стомани. Освен това повишаването на температурата в реалните турбини води до намаляване на влагата в края на процеса на разширяване на парата. Това повишава надеждността и експлоатационния живот на турбината поради по-слабата ерозия на метала и леко увеличава относителната ѝ вътрешна ефективност (Кириухин В. И., Н. М. Тараненко, Е. П. Огурцова и др., 1987).

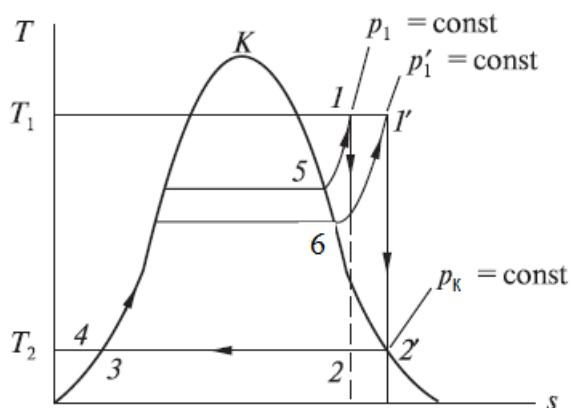
Междинно прегряване на парата

При цикъл с междинно прегряване парата след разширяване в турбината (фиг. 5) от налягане p_1 до налягане p_1' се насочва към междинен прегревател, където допълнително се подава топлина и се увеличава нейното прегряване. След това парата се връща отново в турбината и се разширява до налягане p_k в кондензатора.

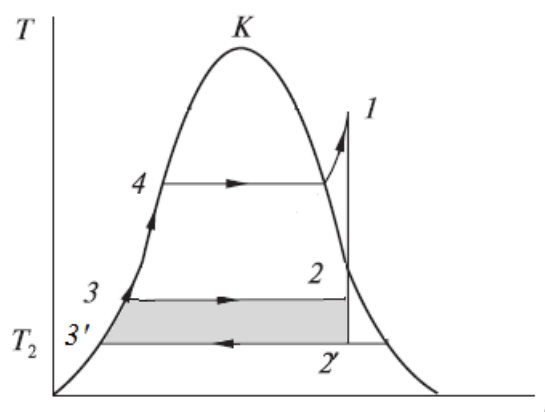
Когато се въведе междинно прегряване, съдържанието на влага в парата в края на процеса на разширяване намалява, което увеличава относителния вътрешен КПД на турбината. В същото време интензивността на ерозията намалява, което има положителен ефект върху надеждността на работата на турбината.

Налягане в кондензатора

При намаляване на налягането p_k в кондензатора температурата на кондензация T_k , при която топлината се отделя от парата чрез охлаждаща вода, също намалява. В резултат на това средната температурна разлика в цикъла се увеличава и следователно топлинната му ефективност се увеличава. За сравнение на фиг. 6 са показани два идеални цикъла в T - s диаграма, различаващи се само по налягането на парата p_k в кондензатора.



Фиг. 5. Илюстрация на метода за увеличаване на η_t чрез двойно прегряване на парата. Процес 5-1 е първото прегряване преди първата степен на турбината, а процес 6-1' е второто прегряване преди втората степен на турбината



Фиг. 6. Намаляване на налягането p_k в кондензатора

Разполагаемата работа на цикъла с по-ниско налягане p_k 1-2'-3'-4-5-1 превишава разполагаемата работа на цикъла 1-2-3-4-4-5-1 с по-високо налягане със стойност, равна на площта 2-2'-3'-3. Но в този случай съдържанието на влага в парата в края на процеса на разширяване и загубата на енергия с изходната скорост се увеличават, което се отразява отрицателно на надеждността на турбината и намалява относителния ѝ вътрешен КПД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- С увеличаване на налягането на парата, ефективността на турбината не винаги се увеличава. Числено изчисление (Трухний А. Д., 1990) в разширени диапазони на изменение на налягането и температурата на горещата пара показва, че в някои интервали от налягането и температурата ефективността може да намалее.
- Увеличаване на налягането на парата води до увеличаване на вътрешните загуби и намаляване на вътрешния КПД.
- Увеличаването на началната температура винаги води до увеличаване на ефективността, тъй като се увеличава топлината, вложена в цикъла. Същевременно това намалява паросъдържанието на изхода на потока от турбината, което увеличава вътрешното к.п.д.
- На практика повишаването на температурата и налягането на водната пара преди турбината е ограничено от избора на топлоустойчиви и особено здрави материали за производство както на котелния агрегат, така и на турбината.

REFERENCES

- Bergles A. E. Techniques to Enhance Heat Transfer // Hand-book of Heat Transfer. 3rd ed. / W.M. Rohsenow, J.P. Hartnett, Y.I. Cho, eds. N.Y.: McGraw-Hill, 1998. Chap. 11.
- Gordiets V. F., Shelepin L. A., Shmotkin Yu. S. Kinetics of isothermal homogeneous-condensation processes // Journal of Soviet Laser Research. November 1986, Volume 7, Issue 6, pp 588-616.
- Hai-Ping, Hu. Simplified approach of turbulent film condensation on an inclined elliptical tube // Int. J. Heat and Mass Transfer. 2006. Vol. 49. P. 640-648.
- Opdyke, C. D. Frigus Gas Turbine Industry Set to Rebound / TMI Handbook. - 2004.
- Sulisbury, I. A new performance criterion for Steam-turbine regenerative Cycles/ I. Sulisbury. Trans. of the ASME. Okt. - 1959.
- Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. Техническая термодинамика – М. : Изд. дом МЭИ, 2008.
- Кирюхин В. И., Н.М. Тараненко, Е. П. Огурцова и др. Паровые турбины малой мощности КТЗ / М.: Энергоатомиздат, 1987.
- Трояновский Б. М., Г. А. Филиппов, А. Е. Булкин Паровые и газовые турбины атомных электростанций / Б.М. Трояновский. М.: Энергоатомиздат, 1985.
- Трухний А. Д. Стационарные паровые турбины / М.: Энергоатомиздат, 1990.
- Шарапов В. И., Замалеев М. М. Повышение эффективности систем регенерации турбин ТЭЦ; Ульяновск: УлГТУ, 2009.