

Реални кръгови процеси. Средноинтегрална температура

Реални кръгови процеси

Цикълът на Карно, разгледан в 10 въпрос, е идеализиран цикъл с идеализирано работно тяло – идеален газ. Неговият термичен КПД η зависи само от температурите T_1 на нагревателя и T_2 на хладилника (13 въпрос) и е максимално възможният при тези температури. Понижаването на КПД при реалните кръгови процеси, които могат да се използват за практически цели, е следствие от две основни причини: работното тяло не е идеален газ, поради което неговите характеристики се отличават от тези на идеалния газ, напр. вътрешната енергия не зависи само от температурата, топлинните капацитети не са константи, ентропията винаги е по-голяма заради неравновесността на процесите; не е възможно осъществяване на идеални изотермни и адиабатни процеси, поради което реалните процеси протичат при по-различни температури. Отчитането на първата причина най-често се осъществява с внасяне на корекции на базата на експериментални данни за всяко конкретно работно тяло. Ние ще се спрем по-подробно на корекциите, които могат да се направят за преодоляване на втория проблем.

Докато адиабатният процес, макар и не като равновесен, може да се осъществи, ако се извърши достатъчно бързо, при изотермния процес има принципна трудност. За да се поддържа постоянна температура на работното тяло докато извършва полезна работа, то трябва да получава количество топлина от голям резервоар при същата температура, но от друга страна, за да се осъществи изобщо топлообмен между газа и резервоара, температурите им трябва да са различни, т.е. ако температурата на резервоара е T_1 , температурата на работното тяло трябва да бъде малко по-ниска – $T_1 - \Delta T$. Поради същата причина температурата, при която се отдава топлина на охладителя, трябва да е малко по-висока от неговата температура $T_2 - T_2 + \Delta T$. Ако можем да поддържаме разликата ΔT постоянна, лесно ще определим КПД на топлинната машина като заменим във формулата за η T_1 и T_2 с $T_1 - \Delta T$ и $T_2 + \Delta T$. В повечето случаи обаче, тази разлика не може да се поддържа постоянна и се налага да се използва т.нар. средноинтегрална температура.

Средноинтегрална температура

Нека да разгледаме един произволен обратим процес 1–2 (фиг. 1). Топлината, която се предава на системата е

$$(1) Q_{1,2} = \int_{S_1}^{S_2} T dS.$$

Това на T – S диаграмата (фиг. 1) е площта между кривата 1–2 и абсцисната ос (13 въпрос). Същото количество топлина, при същото изменение на ентропията, можем да предадем на системата при изотермен процес 1'–2', при температура T_{cp} , ако площите B_1 и B_2 на фиг. 1 са равни

$$(2) Q_{1',2'} = T_{cp} (S_2 - S_1) = Q_{1,2}.$$

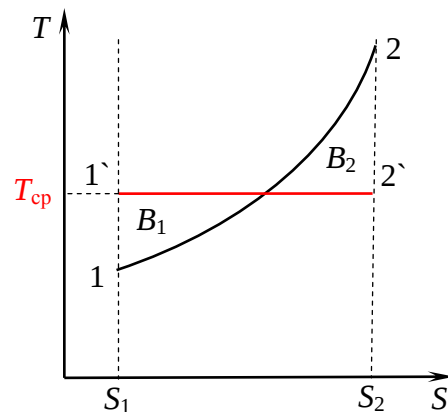
Величината T_{cp} се нарича средноинтегрална температура за дадения процес. Виждаме, че това е температурата на изотермен процес, при който на системата се предава (или отнема) същото количество топлина, при същото изменение на ентропията ΔS , както в реалния процес. От (1) и (2) за средноинтегралната температура ще получим

$$(3) T_{cp} = \frac{Q_{1,2}}{(S_2 - S_1)} = \frac{\int_{S_1}^{S_2} T dS}{(S_2 - S_1)}.$$

Да разгледаме сега произволен обратим цикъл 1–m–2–n–1 (фиг. 2), реализиран между крайните температури T_1 и T_2 . Нека пресметнатите средноинтегрални температури за двете части на цикъла 1–m–2 и 1–n–2 са T_{1cp} и T_{2cp} . Количеството топлина, предадено на системата в процеса 1–m–2, като имаме предвид (3), е

$$Q_1 = Q_{1-m-2} = \int_{S_1}^{S_2} T dS = T_{1cp} (S_2 - S_1),$$

а отведеното от системата количество топлина в процеса 2–n–1 е



фиг. 1

$$Q_2 = Q_{2-n-1} = \int_{S_2}^{S_1} T dS = T_{2cp} (S_1 - S_2) = -T_{2cp} (S_2 - S_1).$$

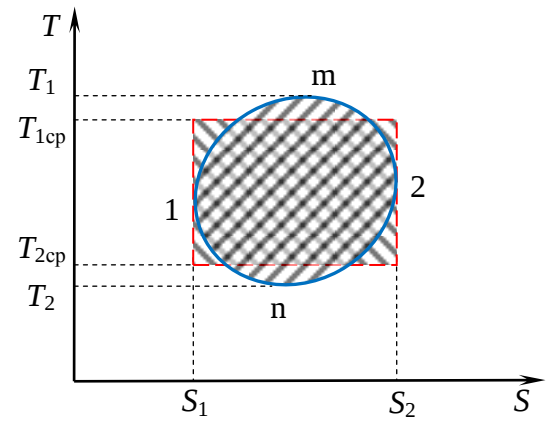
Термичния КПД в този случай ще бъде:

$$\eta_p = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{(T_{1cp} - T_{2cp})(S_2 - S_1)}{T_{1cp}(S_2 - S_1)} = \frac{T_{1cp} - T_{2cp}}{T_{1cp}} = 1 - \frac{T_{2cp}}{T_{1cp}}.$$

Виждаме, че термичният КПД на произволен обратим цикъл, реализиран в температурния интервал от T_1 до T_2 , е равен на термичния КПД на цикъла на Карно, реализиран в по-тесен интервал между средноинтегралните температури на двете части от цикъла T_{1cp} и T_{2cp} . Виждаме също, че КПД на реалния процес η_p е по-малък от КПД на идеалния цикъл на Карно между температурите на нагревателя T_1 и на хладилника T_2

$$\eta_p = 1 - \frac{T_{2cp}}{T_{1cp}} < 1 - \frac{T_2}{T_1} = \eta,$$

тъй като $T_{1cp} < T_1$ и $T_{2cp} > T_2$.



фиг. 2