Sterling engine theory

**Теория на Стерлинговия двигател**

[https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling\_engine#Theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine%23Theory)

(главна станица, Sterling Cycle)

<http://greentech-bg.net/?p=4173>

Идеалния цикъл на Стерлинг има четири [термодинамични процеса](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0#.D0.A2.D0.B5.D1.80.D0.BC.D0.BE.D0.B4.D0.B8.D0.BD.D0.B0.D0.BC.D0.B8.D1.87.D0.BD.D0.B8_.D0.BF.D1.80.D0.BE.D1.86.D0.B5.D1.81.D0.B8) които въздействат върху работещата течност:

1. [Изотермно разширяване](http://download.pomagalo.com/377923/izotermen+procesidealen+gaz/).

Пространството за разширяване и свързания топлообменник се поддържат на постоянна висока температура, и газовете са във състояние на почти-изотермично разширение като абсорбират топлината от нагревателя.

1. Отнемане на толината със постоянен обем (известен още като изо-обемен? или [изохорен](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81) процес)

Газовете минават през [регенератора](http://energy-review.bg/energy-statii.aspx?br=91&rub=967&id=701), където изтиват и отдават топлината си на регернератора за използване през следващия цикъл.

1. Изотермно свиване (сгъстяване)

Пространството за разширяване и свързания топлообменник се поддържат на постоянна ниска температура, и газовете са във състояние на почти-изотермично свиване като отделят топлина към радиатора.

1. Добавяне на толината със постоянен обем (известен още като изо-обемен? или изохорен процес)

Газовете минават през регенератора, където приемат обратно топлината отдадена при (2) и за затоплят на път към пространството за разширяване.

Теоретичния [термален коефициент на полезно действие](http://physics-bg.org/au/035-karnot.php) е равен на хипотетичния [цикъл на Карно](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D0%BA%D1%8A%D0%BB_%D0%BD%D0%B0_%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%BE), т.е. най-големия коефициент на полезно действие който е възможен при който и да е топлообменен двигател. Обаче, въпреки че теоретичния цикъл е полезен за показването на общи принципи, той корено се различава от практически модели на Стерлинговия двигател. Дискутирано е че широкото му използване в много базови книги на тема термодинамика и инжинерство е повлияло зле на изучаването на Стерлинговия двигател.

Има проблеми в реалния свят които намаляват коефициента на полезно действие на постоени двигатели, заради ограничения на [конвекивния топлообмен](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D0%BC%D0%B5%D0%BD#.D0.9A.D0.BE.D0.BD.D0.B2.D0.B5.D0.BA.D1.86.D0.B8.D1.8F) и [визкозния поток](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%BD%D0%B0_%D1%84%D0%BB%D1%83%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B5#.D0.92.D0.B8.D1.81.D0.BA.D0.BE.D0.B7.D0.B5.D0.BD_.D0.B8_.D0.BD.D0.B5.D0.B2.D0.B8.D1.81.D0.BA.D0.BE.D0.B7.D0.B5.D0.BD_.D0.BF.D0.BE.D1.82.D0.BE.D0.BA) (флуидно триене). Има също и практични механични ограничения, например опростена кинематични връзки може да бъдат предпочитано пред по-сложни механизми, необходими да се построи идеалния цикъл. Други граници се налагат от наличните материали – например [реалните свойства](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD_%D0%B3%D0%B0%D0%B7) на работния газ, [топлопроводимост](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82), [якост на опън](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82), [пластичната деформация](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B4%D0%B5%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), якост на скъсване, и [температура на топене](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D1%84%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%B5). Често се повдига въпроса дали идеалния цикъл със изотермно разширяване и свиване е наистина правилния идеален процес който да се приложи към Стерлинговия двигател.   
  
Професор С. Дж. Ралис изтъква че е много трудно да се представиш каквито и да са условия където камерате за разширяване и свиване се проближават до изотермно състояние, и е много по реалистично да се представи като [адиабатен](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81). Идеалния анализ в който камерите за разширяване и свиване са представени като адиабатни със изотермни топлообменници и перфектна регерерация е анализиран от Ралис и представен нато по-добра идеализация за Стерлингови машини. Той е нарекъл този цикъл „псевдо-Стерлингов“ или „идеален адиабатичен Стерлингов цикъл“. Важно последствие на този идеален цикъл е че не може да се изчисли коефициента на полезно действие на Карно. Следващо последствие на този цикъл е че максималния коефициент на полезно действие се намира при по-нисък процент на свиване, характеристика която се наблюдава при реалните машини.   
  
В друга автономна разработка, Т. Финкелстайн също разглежда адиабатични камери за разширяване и свиване в своя анализ на Стерлингови машини.

**Експлоатация**

Тъй като Стерлинговия двигател е затворен цикъл, във него се съдържат определехо количество газ наречена „работен флуид“, обикновенно [въздух](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%BD%D0%B0_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D1%8F%D1%82%D0%B0), [водород](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) или [хелий](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9). При нормална експлоатация двигателя е затворен и газът не влиза и излиза от двигателя. За разлика от други двигатели с бутала, няма клапани. Стерлинговия двигател, подобно на повечето топлинни двигатели, минава през четири главни процеса – истудяване, сгъстяване, затопляне и разширяване. Това става чрез преместване на газът между горещ и студен топлообменник, често с регернератор между тях. Горещия топлообменник е в термален допир с източникът на топлина, например горелка, и студения топлообменник е в термален допир с радиатор, например тъкни пластинки. Разликата с температурате на газа произвежда следваща разлика в налягането на газа, докъто движението на буталото алтернативено разширява и сгъстява газа.

Поведението на газа следва [законите за газове](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7#.D0.9E.D1.81.D0.BD.D0.BE.D0.B2.D0.BD.D0.B8_.D0.B7.D0.B0.D0.BA.D0.BE.D0.BD.D0.B8_.D0.BF.D1.80.D0.B8_.D0.B3.D0.B0.D0.B7.D0.BE.D0.B2.D0.B5.D1.82.D0.B5) които описват как са свързани налягането, температурата и обема на газовете. Когато газа се затопля в затворена камера, налягането се покачва и така причинява движение към буталото за да се получи ударния тласък. Когато газа изстине, налягането спада, буталото трябва да приложи по-малко сила при обратното движение за да го сгъсти, и така се получава нетна изходна мощност.

Както при всички топлинни двигатели, идеалния Стерлингов цикъл е неизпълнил в реалния свят; достигнат е коефициент на полезно действие от 50%, подобно горната граница на [Дизеловия двигател](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB). Коефициента на полезно действие на Стерлинговите машини е също свързано със температурата на околната среда; по-висок коефициент е достижим когато времето е студено, поради това този тип двигатели са не приложими при топъл климат. Както и други двигатели с външно горене, Стерлинговия двигател може да използва и топлинни източници различни от изгарянето на горива.

Когато едната страна на буталото е отворена към атмосферата, експлоатацията е малко по-различна. Когато затворения обем на работния газ се допира до топлата страна, той се разширява, въздействайки и на буталото, и на атмосферата. Когато работния газ се докосне до студената стена, налягането му пада под атмосферното, и атмосферата избутва буталото и въздейтва над газа.

В заключение, Стерлинговия двигател използва температурната разлика между топлия и студения край за да създаде цикъл в който дадено количество газ, нагрято и разширено, и изстудено и сгъстено, така превръща термална енергия в механична. С увеличаването на температурната разлика се увеличава и коефициента на полезно действие. Максималния теоретичен коефициент на полезно действие е равен на цикълът на Карно, но реалните двигатели имат по-малък коефициент заради триене и други загуби.

Построени са и свръх-маломощни двигатели които работят и при минимална температурна разлика от 0.5 К. При Стерлинговия двигател с изместване, има едно бутало и един измествател. Нужна е температурна разлика между двата края на голям цилиндър за да работи двигателя. При Стерлинговия двигател с много малка температурна разлика ( **low-temperature difference** (LTD) ) двигателя може да работи само с температурната разлика между вашата ръка и околния въздух. При Стерлинговия двигател с изместване, буталото е добре уплатнен и се контролира се мести нагоре и надолу когато газът вътре се разшири. Измествателят е закрепен хлабаво, така че въздуха може спокойно да преминава между топлатаи студената камера на двигателя. Измествателя се придвижва за да конролира загряването и изстудяването на газа в двигателя.

Има две позиции:

1. Когато измествателя е близо до горната част от цилиндъра, по-голямата част от газът в двигателя е вече затоплена от топлинния източник и разширена. Това увеличава налягането, което мести буталото нагоре.
2. Когато измествателя е близи до дъното на цилиндера, по-голямата част от газът в двигателя е вече изстудена и се свива, налягането се намалява, и позволява на буталото да се премести надолу и да сгъсти газа.

Херметизация

В повечето Стерлингови двигатели с висока мощност, и минималното, и средното работещо налягане на работния флуид са по-високи от атмосферното налягане. Това първоначално налягане може да бъде създадено с помпа, със пълнене на двигателя с газ под налягане от бутилка, или като просто двигателя се херметизира когато средната му температура е по-ниска от средната му работна температура. Всички тези методи повишават масата на работния флуид във термодинамичния цикъл.

Всички топлообменници трябва да са правилно оразмерени за да подават необходимите скорости на тоопообмен. Ако топлообменниците са правилно проектирани и могат да подават термалния поток необходим за конвективен топлообмен, тогава двигателя с първо приближение произвежда мощност пропорционална на средното налягане, както прогнозрано от числото на Уест и числото на Бийл. В практиката, максималното налягане е равно на това безопаснотата експлоатация на камерата под налягане. Както и повечето характеристики на Стерлинговия двигател, оптимизацията е многомерна, и често има противоречиви изисквания. Трудност при херметизацията е, че докато повишаването на налягането подобрява мощността, необходимата топлина се повишава пропопционално на повишаването на налягането. Топлообмена става все-по труден с нарастването на налягането, понеже по-високото налягане изисква все-по- дебели стени на двигателя, което затруднява топлообмена.

**Смазки и триене**

При високи температури и налягане, кислорода в камерата под налягане, или работния газ в двигателите с горещи газове, може да се смесят със смазката на двигателя и да експлоадира. Поне един човек е загинал в такава експлозия.

Смазките също могат за запушат топлообменниците, особенно регенератора. Поради тези причини конструкторите предпочитат материали с нисък коефициент на [триене](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D0%B5), които не изисткат смазки (като политетрафлуороетилена пластмаса ПТФЕ ([тефлон](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%84%D0%BB%D0%BE%D0%BD)) или [графит](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%82)), със нисък перпендикулен натиск над подвижните части, особено за движещи уплътнения. Някои проекти избягват движещи повърхности като използват диафрагми вместо уплатнени бутала. Има някои фактори които позволяват Стерлинговите двигатели да имат много ниско ниво на техническо обслужване и по-дълъг живот в сравнение с двигателите със вътрешмо горене.