

6. Гасне турбине

Садржај:

Примена гасних турбина. Принцип рада. Топлотне шеме гасног блока. Главни уређаји и процеси у њима. Степен корисности гасног блока. Комбинована постројења гасне и парне турбине. Примена гасних турбина у енергетици, индустрији и саобраћају.

6.1 Историјски развој гасних турбина

1791. John Barber. Први патент гасне турбине.

После низа патената крајем 19. и почетком 20. века, 30-тих година 20. века почела озбиљнија примена у енергетици.

1930. Frank Whittle. Патент турбомлазног авионског мотора. 1937. године у В. Британији тестиран успешно први авионски турбомотор према пројекту Whittle-а. 1941. године уграђен турбомотор W-1 у авион.

1936. Hans von Oheirn приказао у Немачкој први модел авионског мотора. По његовим пројектима израђен мотор који је уграђен у авион He-178 фирме Heinkel 1939. године. То је био први авион који је августа 1939. године полетео са турбомотором.

После 2. светског рада убрзан развој да крајем 20. века гасна турбина доживела праву експанзију у примени.

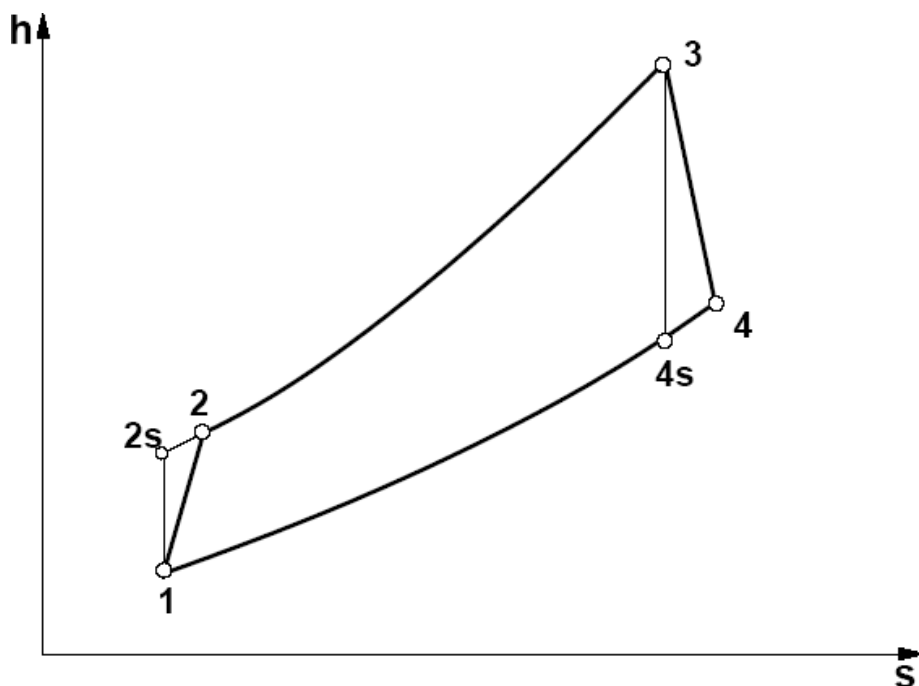
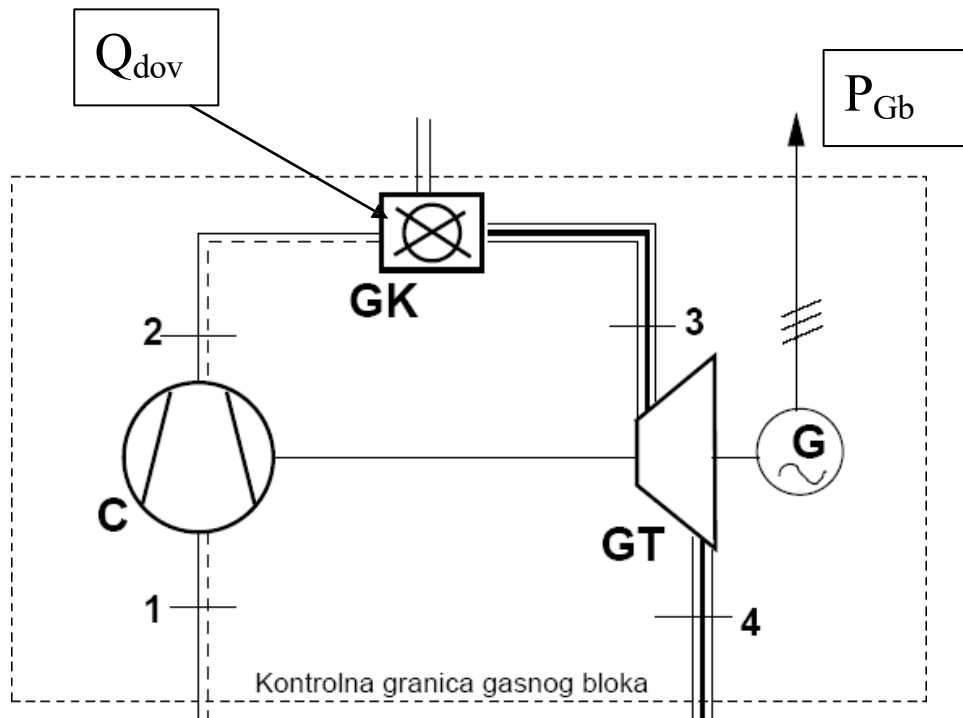
6.2 Принцип рада гасног блока

Гасне турбине раде по Joule-овом циклусу. Основна топлотна шема гасне турбине отвореног тока приказана је на слици 6.1.

Код овог постројења:

- турбокомпресор **C** усисава ваздух из атмосфере и сабија га од стања 1 до стања 2,
- сабијени ваздух се затим одводи у грејну комору **GK**, у коју се убризгава гориво,
- сагоревањем горива у сабијеном ваздуху радно тело се загрева од температуре t_2 до температуре t_3 при приближно константном притиску. При овоме се не мењају само термодинамичке величине стања већ и хемијски састав радног тела,
- продукти сагоревања експандирају у гасној турбини **GT** од стања 3, до приближно атмосферског притиска (стање 4),
- механички рад, који се при том добија, користи се за покретање турбокомпресора и генератора,
- продукти сагоревања се из турбине испуштају у атмосферу где се хладе до температуре околине (процес 4-1).

С обзиром да у турбини експандирају продукти сагоревања, као гориво код гасних турбина отвореног тока се може користити само погодно квалитетно течено или гасовито гориво како би се избегла ерозија и корозија лопатица турбине.



Сл. 6.1 - Топлотна шема гасног блока отвореног тока и h, s -дијаграм процеса

6.3 Основни термодинамички параметри гасног блока отвореног тока

Под основним термодинамичким параметрима гасног блока подразумевају се параметри који потпуно дефинишу кружни циклус по којем постројење ради.

Гасни блок ради по Џуловом циклусу па је потребно дефинисати величине стања у тачкама 1, 2s, 3 и 4s.

За гасни блок отвореног тока основни термодинамички параметри су:

- p_1 - притисак на улазу у компресор (атмосферски),
- t_1 - температура на улазу у компресор (атмосферски),
- p_2 - притисак на излазу из компресора (од неколико bar до 30 bar),
- t_3 - температура на улазу у турбину (од 900 до 1600 °C).

Уместо притиска p_2 може се увести степен компресије $\Pi = p_2/p_1$.

6.4 Главни термодинамички параметри гасног блока отвореног тока

Главни термодинамички параметри показују квалитет постројења у погледу трансформације топлоте у рад, односно, електричну енергију. Ови параметри се називају термодинамичким због тога што највише зависе од термодинамичких величина стања са којима блок ради.

Главни термодинамички параметри гасног блока су:

- L_{Gb} – специфични рад генератора бруто. То је електрични рад који се добије на прикључцима генератора по јединици радног тела на улазу у компресор. Њему за задати проток одговара снага генератора бруто.
- η_{Bb} – степен корисности блока бруто. То је однос добијеног рада на прикључцима генератора и доведене топлоте. Овај параметар показује који се део доведене топлоте трансформише у користан рад.
- q_{Bb} – специфична потрошња топлоте блока бруто. То је она количина топлоте коју треба довести кроз контролну границу блоку да би се у њему добила јединица рада на излазу из контролне границе.

Снага генератора бруто:

$$P_{Gb} = \dot{M}_V \cdot L_{Gb}$$

Специфичан рад генератора бруто:

$$L_{Gb} = \frac{P_{Gb}}{\dot{M}_V}$$

Степен корисности блока бруто:

$$\eta_{Bb} = \frac{P_{Gb}}{\dot{Q}_{dov}}$$

Специфична потрошња топлоте блока бруто:

$$q_{Bb} = \frac{\dot{Q}_{dov}}{P_{Gb}}$$

Ако је H_d доња топлотна моћ горива, масени проток горива који гасна турбина троши у јединици времена ће бити:

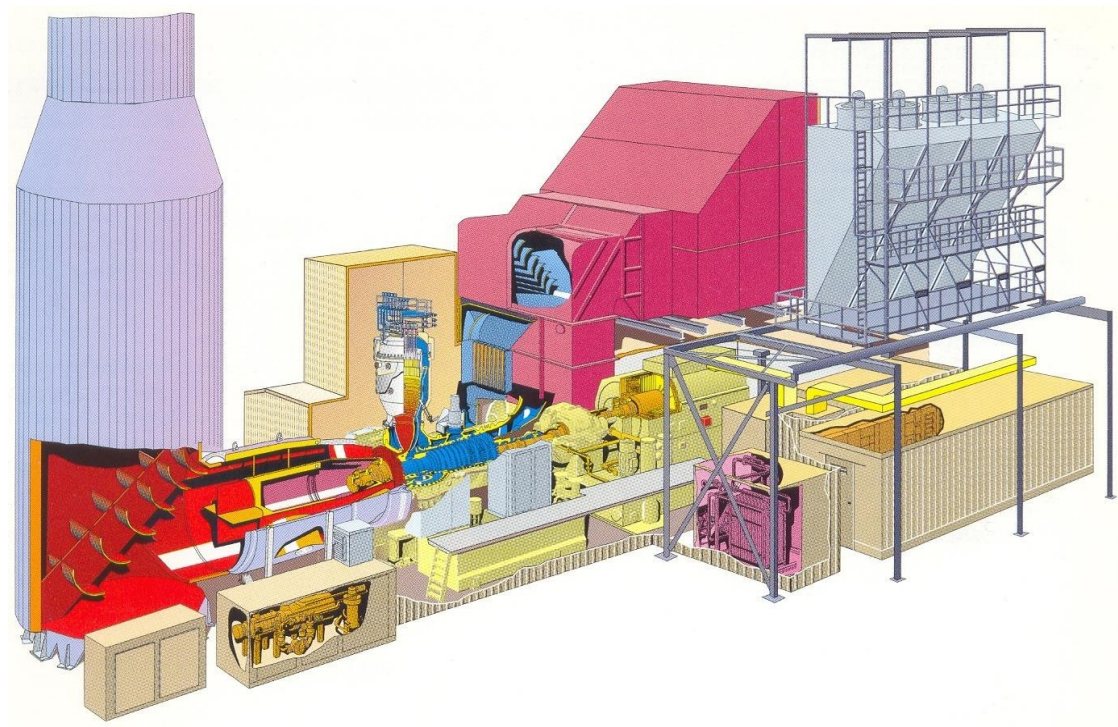
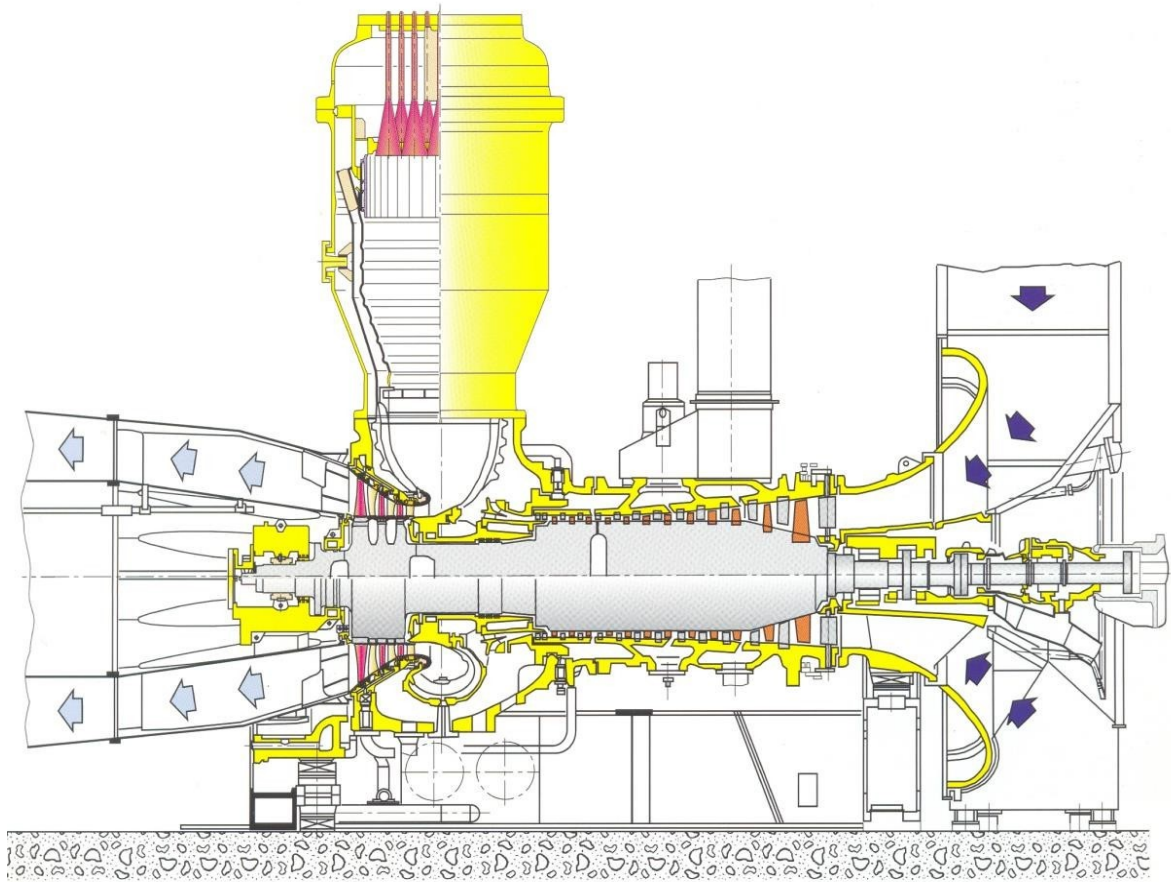
$$\dot{M}_G = \frac{\dot{Q}_{dov}}{H_d}$$

а специфична потрошња горива

$$b_{Gb} = \frac{\dot{M}_G}{P_{Gb}} = \frac{q_{Bb}}{P_{Gb}}$$

и може се изразити у m^3 горива по kWh електричне енергије.

Уколико је даље позната цена горива [дин/м³], лако се могу одредити трошкови горива по сваком произведеном kWh електричне енергије.



Сл. 6.2 - Гасна турбина снаге 60 MW

6.5 Комбиновано постројење гасне и парне турбине

Код комбинованог постројења гасне и парне турбине гасови са излаза из гасне турбине се воде у котао утилизатор **KU** где се њиховим хлађењем производи прегрејана пара за процес у класичном парном постројењу.

На овај начин су искоришћене добре стране гасног и парног циклуса:

- топлота се доводи сагоревањем горива у грејној комори гасног блока при високим средњим температурама, а
- одводи се из циклуса у кондензатору парног блока при константној температури (температура кондензације) која је само мало виша од температуре околине.

Елиминисане су лоше стране оба циклуса:

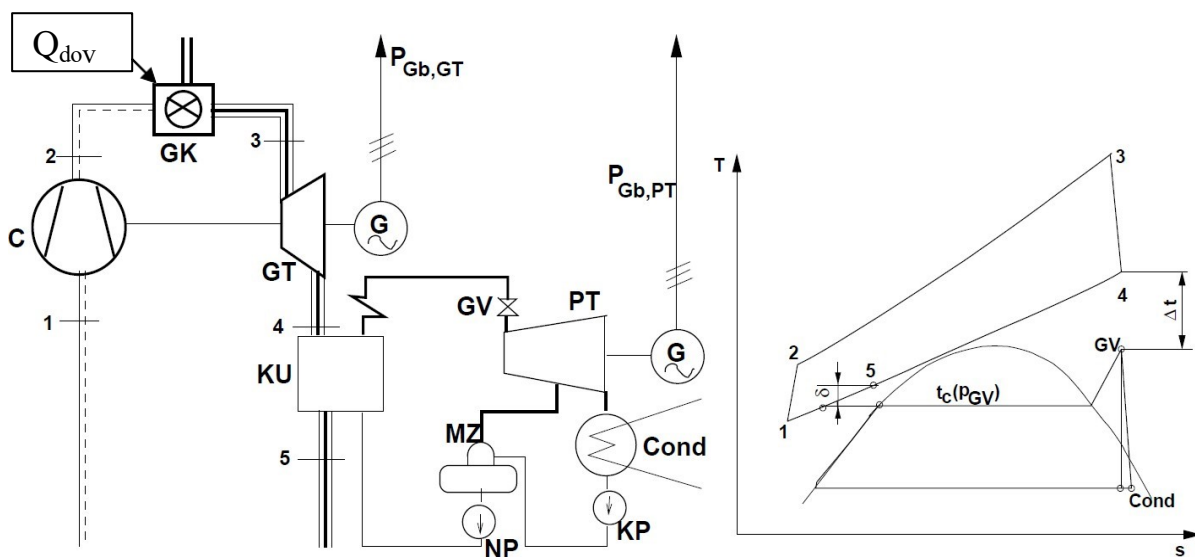
- одвођење топлоте при високим средњим температурама код гасног циклуса и
- довођење топлоте при ниским средњим температурама код парног циклуса.

Степен корисности комбинованог постројења бруто се дефинише као однос укупно добијеног електричне снаге на прикључцима генератора гасне турбине $P_{Gb,GT}$ и генератора парне турбине $P_{Gb,PT}$ према укупно доведеној количини топлоте у грејној комори у јединици времена \dot{Q}_{dov} :

$$\eta_{KPB} = \frac{P_{Gb,GT} + P_{Gb,PT}}{\dot{Q}_{dov}}$$

Однос снаге гасног блока према снази парног блока је по реду величине $P_{Gb,GT} : P_{Gb,PT} \approx 2 : 1$. С обзиром да се електрична енергије у парном блоку добија од отпадне топлоте из гасног блока степен корисности комбинованог постројења је око 1,5 пута већи од степена корисности одговарајућег гасног блока.

Код нових комбинованих постројења данас (2025. год.) достигнут је степен корисности $\eta_{KPB} = 0.62 \div 0.64$, тако да су ово топлотне машине са апсолутно највишим степеном корисности (према овом параметру прва следеће машине помоћу којих се топлотна енергија може претворити у механички рад су велики бродски дизел мотори са степеном корисности од око 48%).



Сл. 6.3 Топлотна шема и T, s - дијаграм процеса комбинованог постројења гасне (GT) и парне (PT) турбине

6.6 Примена гасних турбина у енергетици

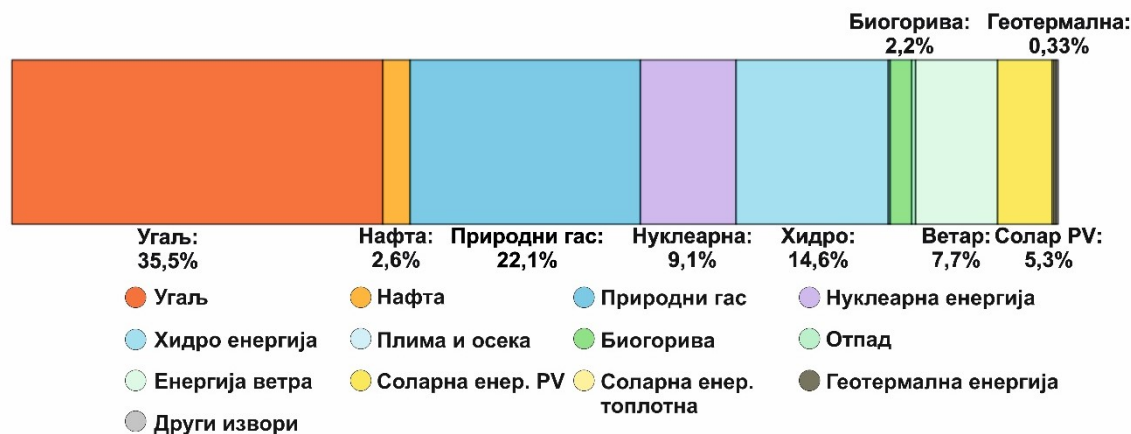
У односу на конкурентски парни блок гасна турбина има читав низ предности:

- једноставније постројење са далеко мањим бројем компонената,
- јефтиније и брже се гради,
- висока поузданост рада,
- лако и економично одржавање,
- брзо стартовање,
- остварује се веома висок степен аутоматизације,
- није потребна вода за хлађење,
- одличне особине у погледу емисије због чега се постројења са гасним турбинама могу градити и непосредно уз потрошаче електричне енергије, па и у центрима великих градова,
- велики распон снага: од микро гасних турбина снаге од неколико десетина kW до великих гасних турбина снаге до 300 MW. На овај начин се сваки специфични захтев може задовољити на најбољи начин.

Поред читавог низа предности гасна турбина има и један велики недостатак:

- гориво мора бити квалитетно и скупо течно или гасовито, пошто продукти сагоревања струје кроз турбину, а примена угља је искључена.

Због овога парна турбина и даље игра велику улогу у енергетици.



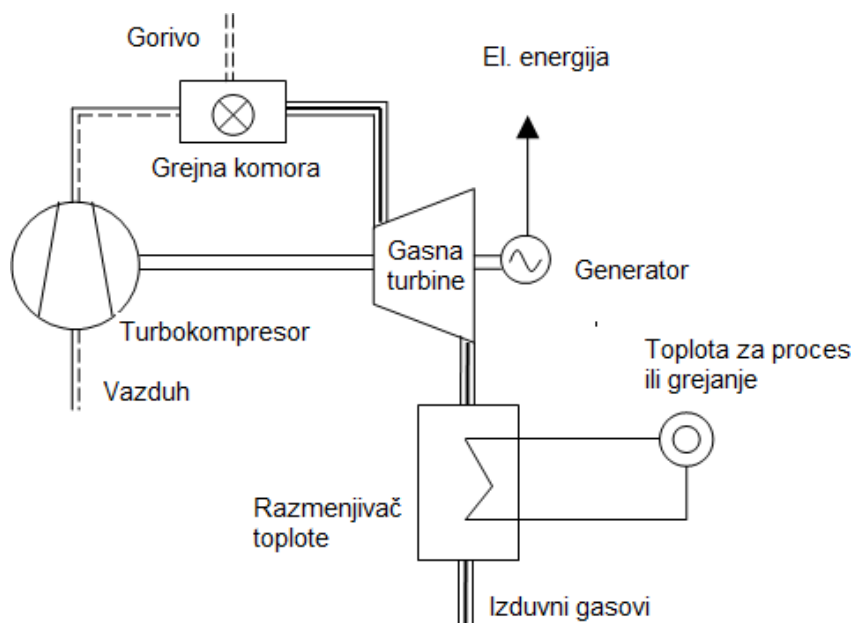
Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Сл. 6.4 – Производња електричне енергије према извору у свету у 2023. години

Са слике 6.4 се види да удео нафте и природног гаса износи скоро 25%, а како је доминантна потрошња ових горива у гасним турбинама, може се закључити да гасна турбина има веома важну улогу у енергетици.

6.7 Примена гасних турбина у индустријској и комуналној енергетици

Веома значајна и велика за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије. Гасови са излаза из гасне турбине се користе за загревање топле воде за даљинско грејање или за производњу технолошке паре за индустријски процес. На овај начин се може постићи степен корисности и преко 80%.



Сл. 6.5 - Примена гасне турбине за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије

6.8 Примена гасних турбина за погон авиона

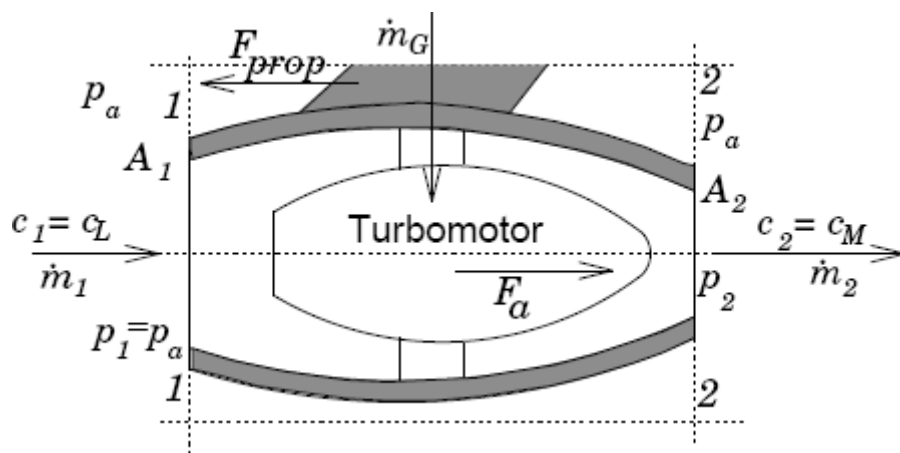
Погон авиона представља врло важну област примене гасних турбина. Овде су гасне турбине неприкосновене, потиснувши скоро потпуно конкурентске погонске машине. Мотор СУС се одржао само још за погон малих спортских авиона. Због значаја ове примене а нарочито због њеног војног аспекта, данас се улажу велика средства у развој гасних турбина.

Захтеви који се постављају пред мотор за погон авиона а које гасна турбина испуњава на најбољи начин су:

- поузданост рада,
- мала специфична тежина машине,
- економичност у потрошњи горива,
- економичност у одржавању.

Код турбомлазних мотора гасна турбина служи као генератор млаза велике брзине. Сила потиска или пропулзије се добија на бази промене (повећања) количине кретања ваздуха који усиса:

$$F_{prop} = \dot{M}(c_M - c_L).$$



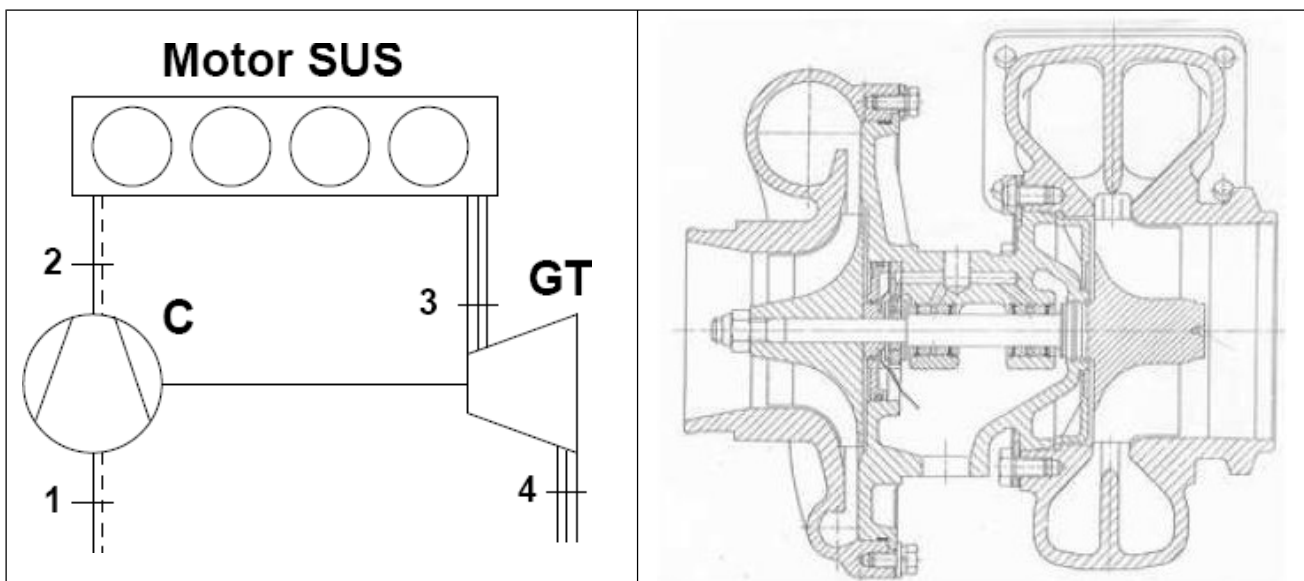
Сл. 6.6 – Принцип рада авионске гасне турбине

6.9 Примена за погон возила

У прошлости било више углавном неуспелих покушаја. И поред свих добрих страна гасна турбина, при садашњем стању развоја, има већу потрошњу горива него мотор СУС што је разлог неуспеха.

Ипак и данас се примењује, углавном у САД, код неких тешких камиона и за погон неких тенкова.

Код аутомобила се гасна турбина примењује за турбопуњење.



Сл. 6.7 Шема турбопуњеног мотора СУС и пресек турбопуњача

6.10 Друге примене гасних турбина

Гасна турбина се примењује и за погон бродова и возова али у мањој мери од других погонских машина (мотора СУС и електромотора).