

CALIBRATION AND VALIDATION OF THE TURBOCHARGED SI-ENGINE COMPUTER SIMULATION BASED ON THE QUASI-DIMENSIONAL COMBUSTION MODEL

This paper discusses problems associated with calibration and validation of the computer simulation of the turbocharged SI-engine (TSIE). Developed simulation had the aim to achieve good predictability with modest computer speed and CPU time requirements. Therefore, concept of the TSIE simulation development was built on these three premises: two-zone combustion model has to be used, it has to be capable of simulating effects of combustion chamber shape on flame front propagation while low pressure part of the cycle model has to be physically and mathematically compatible with the described combustion model. Synthesis of the quasi-dimensional two-zone combustion model based on the turbulent flame entrainment theory and a zero-dimensional energy cascade turbulent flow model enables prediction of effects of various design and operating parameters on SI-engine combustion process. Gas exchange process is modeled using "filing end emptying" technique, therefore "quasi two-zone" differential equations for manifold volumes had to be developed in order to make them compatible with in-cylinder precesses calculation. Turbocharger operating point is determined by interpolation of turbomachinery maps. Separate moduls for intercooler and wastegate valve were also developed. Expressions which predominantly influence various parts of the operating cycle and contain constants that should be calibrated are indentified. Calibration strategy, based on the hypothesis that simulation constants can be calibrated at a single representative regime and model would be capable of predicting effects of variations of parameters in the whole operating range is discussed. Main constants that need to be calibrated are in the following sub-models: submodel for calculating flow through valves, turbulence submodel and heat transfer to the walls submodel. Hypothesis was tested by validating calculation results over the whole operating range. Gas exchange part of the simulation performed very well, engine volumetric efficiency was predicted correctly, so it was concluded that this submodel does not need any adjustments. Parameter which determines rate of burning in a particular engine is dissipation coefficient in the turbulent combustion model. After careful calibration of this constant through comparison of calculated data and data acquired from experimentally measured pressure trace, combustion model was capable of predicting combustion rates for different operating conditions. Adjustment of the constant in the heat transfer expression enables good agreement between calculated and measured cylinder pressure and energy balance. The ability to predict overall TSIE system performance was evaluated by comparison of operating lines on the compressor map. This study was compared using experimental data base consisting of results for the DMB 128 Turbo prototype engine. Among measured results there were sets of cylinder pressure data for many consecutive cycles, statistically treated in order to provide so called mead cycle necessary for comparison with the calculated engine cycle.

Key words: SI engine, computer simulation, combustion model.

KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA SIMULACIJE TURBOPUNJENOG OTO-MOTORA ZASNOVANE NA KVAZI-DIMENZIONALNOM MODELU SAGOREVANJA

Predmet ovog rada je problem kalibracije i verifikacije kompjuterske simulacije kompletnog sistema turbo-punjenog oto - motora TOM. Razvijena simulacija je trebalo da obezbedi što veću predikci-

nost, ali uz umerene zahteve u pogledu kapaciteta i performansi računara. Zato je koncepcija razvoja simulacije TOM bila da model sagorevanja mora biti dvo-zonski, da mora da uzima u obzir uticaj geometrijskog oblika komore za sagorevanje na prostiranje plamena, a da se niskopritisni deo simulacije mora graditi oko tog modela sagorevanja tako da i fizički i matematički bude sa njim kompatibilan. Primenjen je kvazi-dimenzionalni dvo-zonski model sagorevanja i teorija o turbulentnom zahvatanju smeše plamenom. Sinteza modela koji razvoj turbulentnog strujnog polja tretira kao multo-dimenzionalnu energijsku kaskadu i kvazi-dimenzionalnog modela sagorevanja obezbeđuje mogućnost predviđanja uticaja različitih konstruktivnih i radnih parametara na odvijanje procesa sagorevanja. Izmena radne materije je modelirana primenom tehnike "punjenja i pražnjenja" i stoga su izvedene "kvazi dvo - zonske" diferencijalne jednačine za proračunavanje stanja u kolektorima koje su kompatibilne sa modelom sagorevanja. Radna tačka turbokompresora se proračunava interpolacijom digitalizovanih mapa kompresora i turbine, a razvijeni su i posebni moduli za proračun međuhladnjaka i prelivnog ventila turbine. U ovom radu se identifikuju karakteristični izrazi modela koji određuju najvažnije procese u okviru radnog ciklusa i u kojima se nalaze konstante koje treba kalibrirati na početku istraživanja konkretnog motora. Objasnjena je strategija kalibracije zasnovana na hipotezi da se vrednosti konstanti mogu odrediti za jedan karakterističan režim, a da je model sposoban da ispravno predviđi promene glavnih parametara pri promenama režima u celom radnom opsegu motora. Glavne konstante koje treba kalibrirati nalaze se u podmodelu za koeficijent protoka kroz ventil, zatim u podmodelu turbulencije i podmodelu prelaza toplote sa gasa na zidove cilindra. Hipoteza je proverena verifikacijom rezultata proračuna u celom radnom opsegu. Pokazalo se da deo simulacije koji proračunava između radne materije veoma dobro predviđa odvijanje tih procesa i vrednosti koeficijenta punjenja na različitim režimima, pa nije bila protrebna naknadna intervencija u izrazima. Ključni parametar za proračun procesa sagorevanja je koeficijent disipacije u modelu turbulencije i posle njegove kalibracije upoređivanjem rezultata simulacije sa eksperimentalno određenim tokom pritiska na odgovarajućem motoru obezbeđuje se prediktivnost modela sagorevanja u svim ostalim uslovima. Podešavanje konstante u izrazu za prenos toplote dovodi u definitivan sklad izračunate i izmerene tokove pritiska kao i toplotne bilanse motora. Na kraju je procenjena prediktivnost simulacije kompletnog sistema TOM upoređivanjem položaja proračunate i eksperimentalno određene radne krive na mapi kompresora. Cela analiza je urađena uz pomoć baze eksperimentalno izmerenih podataka formirane ispitivanjem prototipa turbopunjenog motora DMB 128 Turbo od 1.1L. Eksperimentalni rezultati uključuju detaljne podatke o toku pritiska u cilindru izmerene u nizu uzastopnih ciklusa i statistički određene, tako da je bilo omogućeno upoređivanje rezultata simulacije sa tzv. srednjim ciklusom motora.

Ključne reči: SUS motor, računarska simulacija, model sagorevanja.