

Zbigniew Peradziński
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Matematyczne modelowanie silników plazmowych używanych w technice kosmicznej

Reaktywne (odrzutowe) silniki plazmowe pojawiły się w technice kosmicznej w latach 70-tych XX w. Energia potrzebna do przyspieszania jonów pochodzi na ogół z baterii słonecznych, a jako paliwo stosowane są najczęściej gazy szlachetne takie jak Ksenon a ostatnio coraz częściej tańszy Krypton. Silniki jonowe charakteryzują się małym ciągiem lecz długim działaniem (mierzonym w latach) i wysoką prędkością wyrzucanych jonów (20–50 km/s), co pozwala uzyskać duże zmiany prędkości pojazdu przy znacznej mniejszym zużyciu paliwa (ponad 10-krotnie). Nie są wprawdzie w stanie wynieść pojazdu z powierzchni planety, ale z powodzeniem mogą być stosowane w przestrzeni kosmicznej, np. w transferach orbit satelitów, korektach ich położenia, kompensacji oporu na niskich orbitach okołoziemskich, precyzyjnych korektach położenia itp. Silniki jonowe mogą być również używane w misjach międzyplanetarnych jako silniki marszowe i w dalekim kosmosie, gdzie tempo przyspieszenia nie ma kluczowego znaczenia. Silniki jonowe są postrzegane więc jako najlepsze rozwiązanie dla misji, które wymagają dużej zmiany prędkości, ale nie wymagają szybkiego przyspieszenia. Jest ciekawe, że pomimo pół wieku aktywności tysięcy naukowców i inżynierów z różnych stron świata (USA, Rosja, Chiny, Europa) pewne problemy dotyczące zarówno modelowania matematycznego jak i optymalizacji pozostają ciągle otwarte. Pierwszy niestacjonarny jednowymiarowy model płynowy został opracowany przez naszą grupę (w IPPT) w pod koniec lat 90-tych XX w. we współpracy z Francuskim Programem Kosmicznym i był dalej rozwijany. Model ten jest ciągle wykorzystywany zarówno do obliczeń osiągow jak i do teoretycznej analizy procesów zachodzących w silniku, np. niektórych niestabilności (breathing mode instability, transit time instability). Model ten uwzględnia trzy płyny, a) atomów neutralnych, b) jonów oraz c) elektronów. Kluczową sprawą są odpowiednie warunki brzegowe, w szczególności uwzględnienie strat jonów na dielektrycznych ściankach, gdzie tworzy się naładowana warstwa odpychająca elektrony i przyciągająca jony. Wykorzystując fakt, że masa elektronu jest mała w stosunku do masy jonu, oraz warunek quasi-neutralności plazmy, udaje się znacznie zredukować układ równań — w wyniku dostaje się nieliniowy układ hiperboliczny z funkcjonalną zależnością. Ze względu na stosunkowo małą gęstość plazmy (długie drogi swobodne w porównaniu do rozmiarów urządzenia) problem rozwiązań słabych prowadzi do rozwiązań miarowych. W przypadku opisu trójwymiarowego równania znacznie się komplikują.