

THE SELECTION OF OPTIMAL CONTROL SYSTEM OF A TURBOCHARGER WITH A CHANGEABLE GEOMETRY OF A TURBINE GUIDE APPARATUS

**Jerzy Jaskólski
Marcin Szczepka**

*Politechnika Krakowska
31-155 Kraków
ul. Warszawska 24
tel.: +48 012 6283684
e-mail: jaskolsk@usk.pk.edu.pl*

Paweł Mikoda

*Politechnika Śląska
Katowice
ul. Krasińskiego 8*

Abstract

The article presents the way of selection the optima control system of a turbocharger with a overpressure servo that uses a changeable geometry of a turbine guide apparatus for limiting the maximal supercharging pressure.

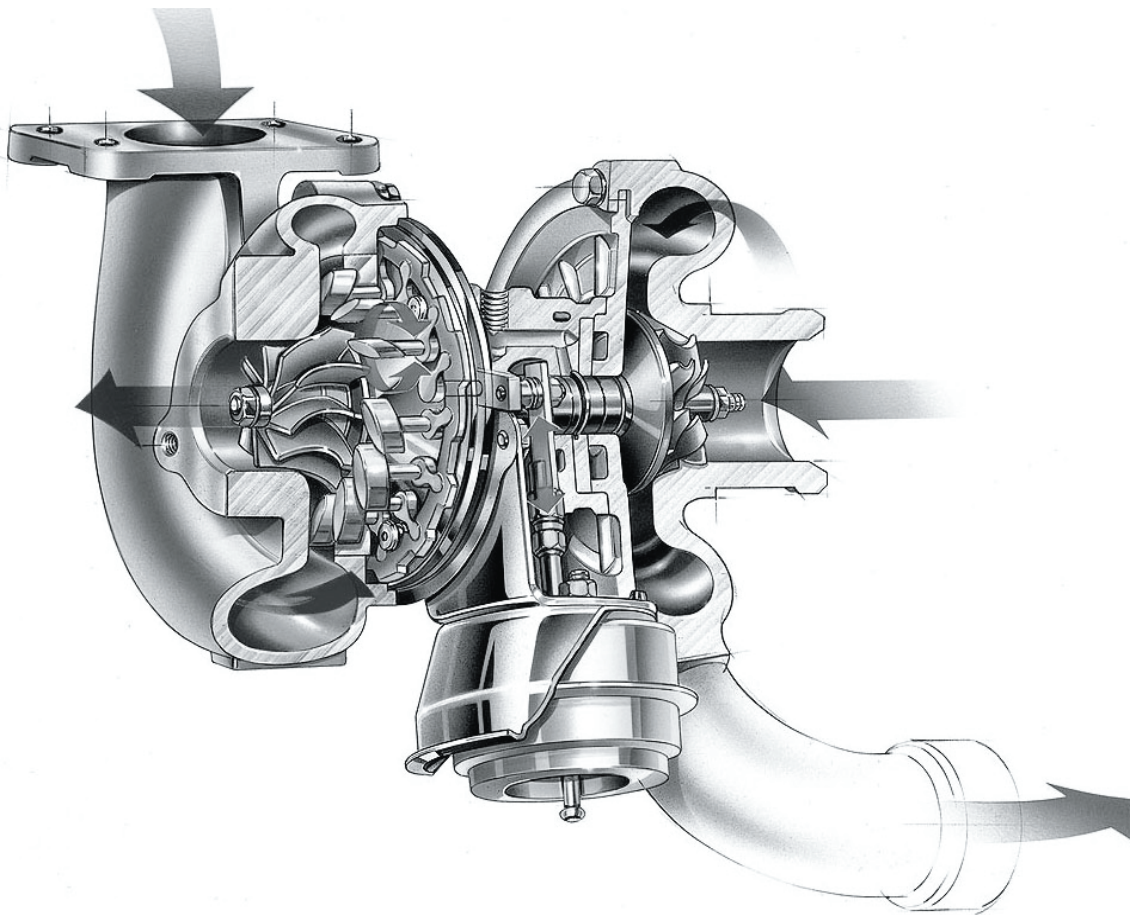
DOBÓR OPTYMALNEGO UKŁADU STEROWANIA TURBOSPREŻARKĄ O ZMIENNEJ GEOMETRII KIEROWNICY TURBINY

Streszczenie

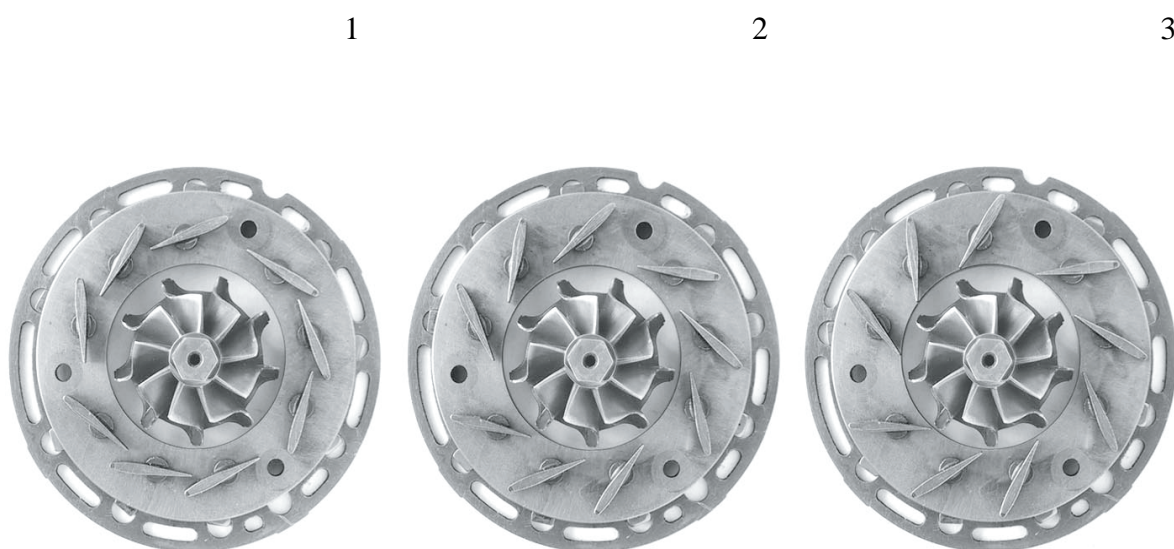
W artykule przedstawiono sposób doboru optymalnego układu sterowania turbosprężarką z silownikiem nadciśnieniowym wykorzystującym zmienną geometrię kierownicy turbiny do ograniczenia maksymalnego ciśnienia doładowania.

1. Wprowadzenie

Turbosprężarki o zmiennej geometrii do niedawna były rzadko spotykanym i drogim rozwiązaniem konstrukcyjnym turbodoładowania, jednakże rosnące wymagania norm emisji toksycznych składników spalin oraz wymagania użytkowników, spowodowały gwałtowny rozwój i spowszednienie tych urządzeń. Obecnie wszystkie wysokiej klasy, wysilone silniki wysokoprężne wyposażone są w turbosprężarki o zmiennej geometrii kierownicy turbiny realizowanej za pomocą nastawnych łopatek turbiny, zaś w silnikach tańszych i słabszych coraz popularniejsze są układy o zmiennej geometrii realizowanej za pomocą ruchomej przesłony kierownicy turbiny.



Rys. 1. Widok poglądowy turbosprężarki o regulowanych łopatkach kierownicy turbiny
 Fig. 1. General view of a turbocharger with a control blades guide apparatus



Rys. 2. Kolejne etapy pracy łopatek kierownicy turbiny (opis w tekście)
 Fig. 2. Successive stages of guide apparatus blades running

Generalna zasada działania turbiny o zmiennej geometrii kierownicy polega na zawężaniu kanałów, którymi spaliny wpadają na wirnik celem zwiększenia ich prędkości (rys. 2, poz. 1). Ma to miejsce w sytuacji niedoboru spalin przy niskim obciążeniu silnika. Gdy wydatek spalin jest duży, kanały kierownicy turbiny zostają rozszerzone, aby nie dopuścić do nadmiernych obrotów wirnika (rys. 2, poz. 2 i 3) i nadmiernego wzrostu ciśnienia doładowania.

Również w stanach nieustalonych, przy niedostatecznym wydatku spalin (w sytuacji gwałtownego przyspieszania z niskich obrotów) następuje szybkie zawężenie kanałów kierownicy turbiny a dzięki temu turbosprężarka jest w stanie dostarczyć odpowiednią ilość powietrza. Turbina o regulowanych łopatkach kierownicy zapewnia ponadto, że spaliny wpadają na wirnik pod optymalnym kątem poprawiając sprawność całej turbosprężarki.

2. Układy sterowania turbosprężarkami o zmiennej geometrii

Można stosować następujące układy sterowania turbosprężarkami o zmiennej geometrii:

1. siłownik nadciśnieniowy zasilany ciśnieniem z kolektora dolotowego,
2. siłownik podciśnieniowy sterowany poprzez elektroniczny kontroler silnika,
3. siłownik elektryczny sterowany poprzez elektroniczny kontroler silnika.

Pierwsze z tych rozwiązań w zasadzie już nie występuje, ponieważ turbosprężarek o zmiennej geometrii nie stosuje się w silnikach bez elektronicznego sterowania. Rozwiązanie to ma jednak pewne zalety: niesłychana prostota i w pełni automatyczne działanie, niezależne od innych niż ciśnienie doładowania parametrów regulacyjnych. Podstawową zaś jego wadą jest zbyt prosta charakterystyka. Siłownik podciśnieniowy jest obecnie najpopularniejszym urządzeniem sterującym turbosprężarką o zmiennej geometrii. Ma on możliwość uzyskania dowolnej charakterystyki zależnej jedynie od kontrolera silnika. Minusem tego rozwiązania jest konieczność wytworzenia podciśnienia (zazwyczaj i tak jest ono wytwarzane na potrzeby układu hamulcowego) oraz zbyt powolne działanie. Żadnej z tych wad nie ma najnowsze rozwiązanie – siłownik elektryczny. Pozwala on uzyskać dowolną charakterystykę i działa bardzo szybko i precyzyjnie (posiada czujnik położenia). Minusem tego rozwiązania są wysokie wymagania dotyczące elementów elektrycznych i elektronicznych (niskie i wysokie temperatury, drgania, trwałość).

Jak widać, siłownik elektryczny sterowany poprzez elektroniczny kontroler silnika jest obecnie najlepszym i najbardziej obiecującym rozwiązaniem. Pozwala on na dokładne i natychmiastowe dostosowanie się silnika do warunków. Szczególnie widoczne jest to w stanach nieustalonych, gdzie kontroler elektroniczny natychmiast przestawia kierownicę turbiny po otrzymaniu sygnału od czujnika położenia pedału przyspieszenia.

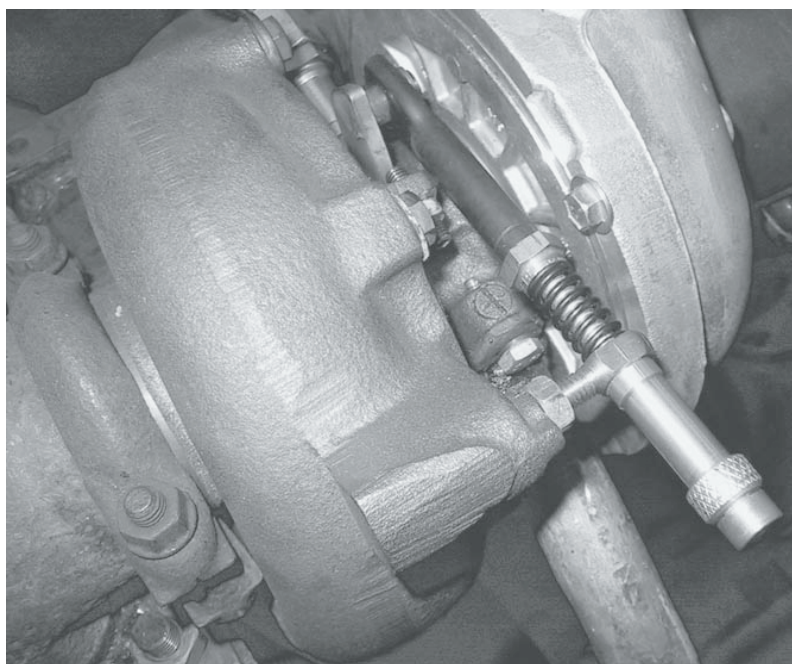
3. Dobór turbosprężarki i układu sterowania

Dobór turbosprężarki o zmiennej geometrii jest zadaniem dosyć skomplikowanym i wymagającym dużo analiz i badań stanowiskowych, ponadto jest o tyle trudniejszy od doboru standardowej turbosprężarki, że pojawia się kolejny parametr regulacyjny (ustawienie kierownicy turbiny). Jednakże, dzięki zmiennej geometrii, turbosprężarki takie mają szerszy zakres stosowania, ze względu na możliwość poprawnej pracy przy znacznie większej rozpiętości wydatku spalin.

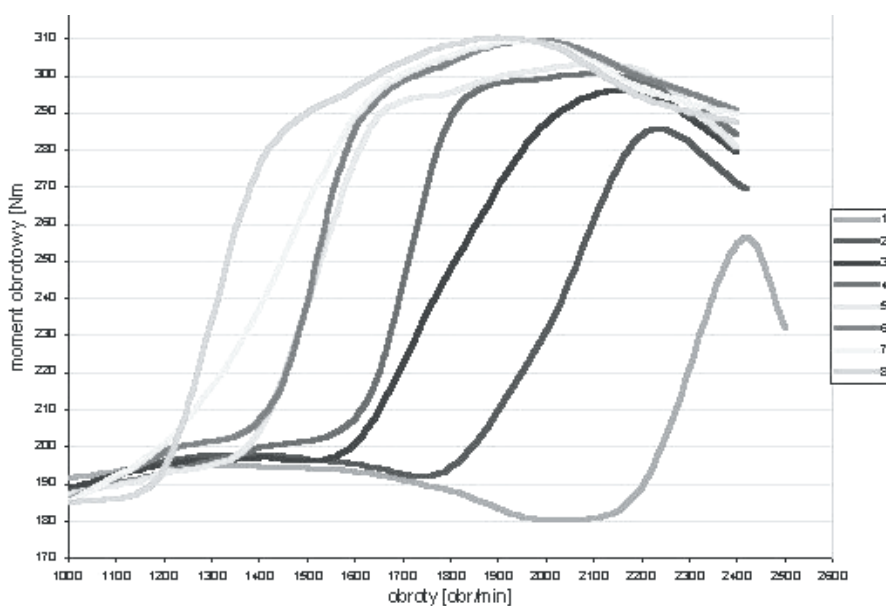
W trakcie badań silnika Andoria 4CT107 wyposażonego w turbosprężarkę o zmiennej geometrii firmy Garrett przeprowadzonych na hamowni IPSiSS PK, mających na celu

dostosowanie silnika do wymagań normy Euro 4, postanowiono opracować optymalny układ sterowania turbosprężarką.

W celu zaprojektowania optymalnego sterownika turbosprężarki w miejsce siłownika sterującego zamontowano śrubę regulacyjną (rys. 3). Na podstawie pomiarów oryginalnego siłownika podciśnieniowego, określono, że jego maksymalny skok wynosi 8 mm. Skok ten został podzielony na osiem stałych, równych położeń, jednoznacznie ustalonych za pomocą śruby regulacyjnej. Następnie dla każdego z ustalonych położeń kierownicy turbiny zdjęto charakterystykę zewnętrzną silnika. Wyniki tych badań przedstawia wykres na rys. 2.



Rys. 3. Śruba regulacyjna zainstalowana na turbosprężarce
Fig. 3. Adjustment screw installed in turbocharger

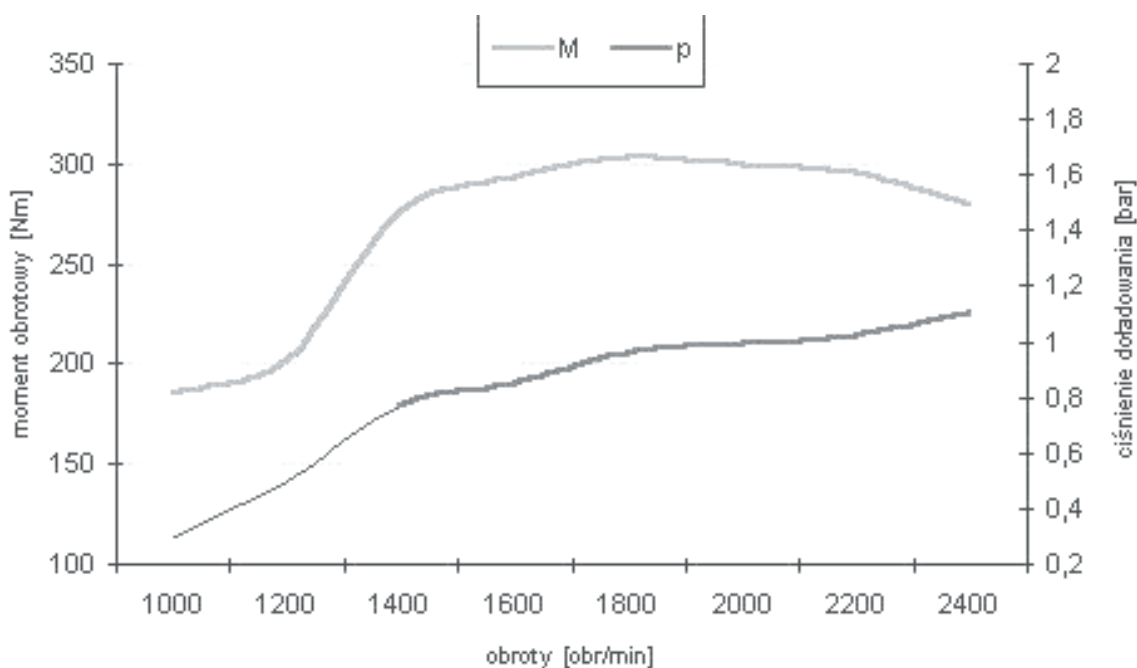


Rys. 4. Charakterystyka zewnętrzna silnika Andoria 4CT107 wyposażonego w turbosprężarkę o zmiennej geometrii firmy Garrett dla ośmiu kolejnych położeń kierownicy turbiny

Fig. 4. External characteristic of Andoria 4CT107 engine equipped in Garrett turbocharger with a changeable geometry in successive eighth turbine guide apparatus position

Tak uzyskane wyniki zostały poddane analizie mającej na celu ustalenie charakterystyki optymalnego układu sterowania turbosprężarką. Ze względu na prostotę silnika zdecydowano, że podstawowym parametrem regulacyjnym będzie ciśnienie doładowania, a układ sterujący wyposażony będzie w siłownik nadciśnieniowy. Kryterium wyboru danego punktu charakterystyki było uzyskanie przez silnik najwyższej mocy i momentu obrotowego przy jednoczesnym zachowaniu możliwie małego jednostkowego zużycia paliwa.

Na podstawie analizy wyników badań ustalono, że należy zastosować regulator nadciśnieniowy o liniowej charakterystyce pracujący w zakresie 0,8 - 1,1 bar. Takie ograniczenie ciśnienia doładowania jest celowe ze względu na trwałość silnika. Na podstawie symulacji przebiegu krzywej momentu obrotowego dla tak dobranego regulatora można stwierdzić, że pomimo znacznie mniejszego ciśnienia doładowania, charakterystyka pozostaje korzystna. Obrazuje to wykres na rys. 5.



Rys. 5. Symulacja charakterystyki momentu obrotowego i projektowanego regulatora nadciśnieniowego
 Fig. 5. Torque and designed overpressure controller characteristic simulation

Jak widać na wykresie, charakterystyka regulatora jest niemal liniowa, zaś ciśnienie doładowania nie przekracza 1,1 bar. Regulator działa od 0,8 bar, na wykresie zaznaczono to kolorem czerwonym.

4. Wnioski

Podczas badań wyznaczono serię charakterystyk, na których podstawie został zaprojektowany układ sterujący z siłownikiem nadciśnieniowym wykorzystującym zmienną geometrię kierownicy turbiny do ograniczenia maksymalnego ciśnienia doładowania. W toku dalszych badań zostanie on wykonany i przetestowany.

Literatura

- [1] Mysłowski J., Doładowanie silników, WKŁ, Warszawa 2002.
- [2] Kordziński Cz., Środulski T., Silniki spalinowe z turbodoładowaniem, WNT, Warszawa 1970.

- [3] Wajand J.A., Wajand J.T., Tłokowe silniki spalinowe – średnio- i szybkoobrotowe, WNT, Warszawa 1993.
- [4] Wajand J.A., Wajand J.T., Doładowanie tłokowych silników spalinowych, WNT, Warszawa 1962.
- [5] Niewiarowski K., Tłokowe silniki spalinowe Tom I, WKŁ, Warszawa 1993.