

УДК 621.43

Динамические характеристики автомобильного дизельного двигателя при различном регулировании турбокомпрессора.

Автор: Минчев Д. С., Мошенцев Ю. Л., Нагорный А. В., Реппа Д. В., Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Известно, что формирование динамической внешней скоростной характеристики автомобильного дизельного двигателя в значительной степени определяется работой системы воздухообеспечения. Инерционные явления в системе наддува, связанные с механической, газодинамической и тепловой инерцией приводят к существенному отклонению значения давления наддувочного воздуха при работе двигателя на переходных режимах по сравнению с соответствующими сходственными установившимися режимами работы.

Для автомобильного двигателя одним из самых нагруженных и теплонапряжённых является режим разгона автомобиля с максимально возможным ускорением, когда двигатель работает по динамической ВСХ. Запаздывание системы наддува по отношению к поршневой части двигателя приводит к снижению коэффициента избытка воздуха, повышению максимальных температур в цилиндре и температур деталей цилиндро-поршневой группы, снижению эффективного крутящего момента. Эти факторы негативно сказываются на динамических характеристиках автомобиля, ресурсе и надёжности двигателя, уровне выбросов токсических веществ с отходящими газами в атмосферу.

Известно, что одним из эффективных способов снижения указанных негативных явлений является применение регулирования турбины турбокомпрессора путём изменения угла установки лопаток соплового аппарата, так называемого соплового регулирования или VNT регулирования.

В настоящей работе исследуется влияние типа регулирования турбокомпрессора на динамические внешние скоростные характеристики автомобильного дизельного двигателя OM 646 фирмы Mercedes-Benz. Рассматриваются режимы разгона автомобиля Mercedes-Benz Vito 109 CDI с максимально возможным ускорением. Расчёты выполнялись в программном комплексе Блиц-PRO и предварялись настройкой математической модели на опытные данные, полученные при испытаниях автомобиля, опубликованные ранее.

Рассматривались два варианта турбокомпрессора: 1) турбокомпрессор с перепускным регулированием (waste-gate или WG регулирование); 2) турбокомпрессор с VNT регулированием. В обоих случаях в качестве базового турбокомпрессора принимался турбокомпрессора Garrett GT2052, характеристики компрессора и турбины которого были предварительно оцифрованы и экстраполированы на всю расчётную область [2, 3]. Момент инерции турбокомпрессора в принимался одинаковым $I_{TK} = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Характеристики компрессора принимались одинаковыми для двух рассматриваемых агрегатов наддува, характеристики турбины с VNT регулированием моделировались по методике, изложенной в [1]. В обоих случаях закладывались одинаковые карты впрыска топлива.

Результаты расчётов представлены на рис. 1-3.

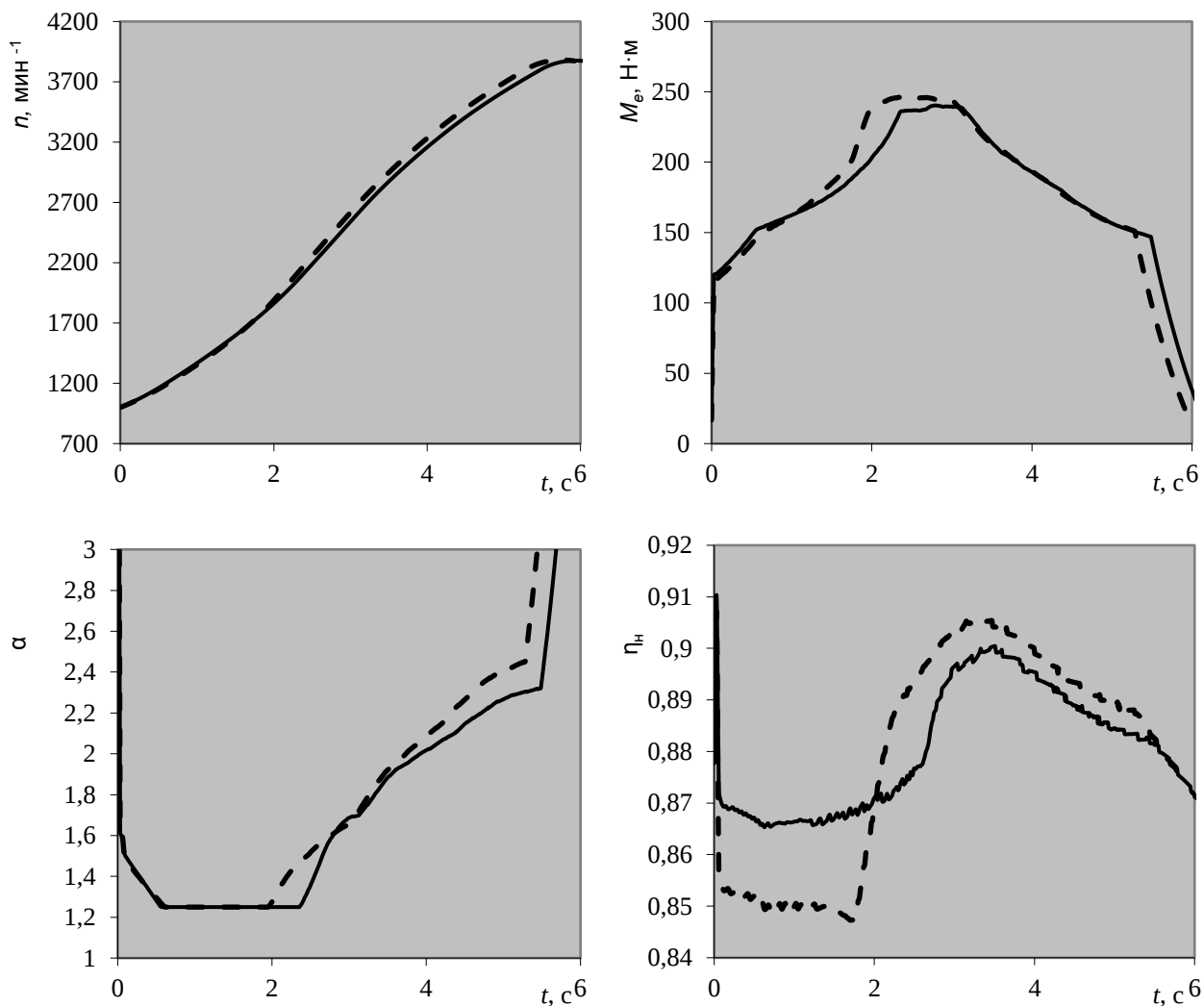
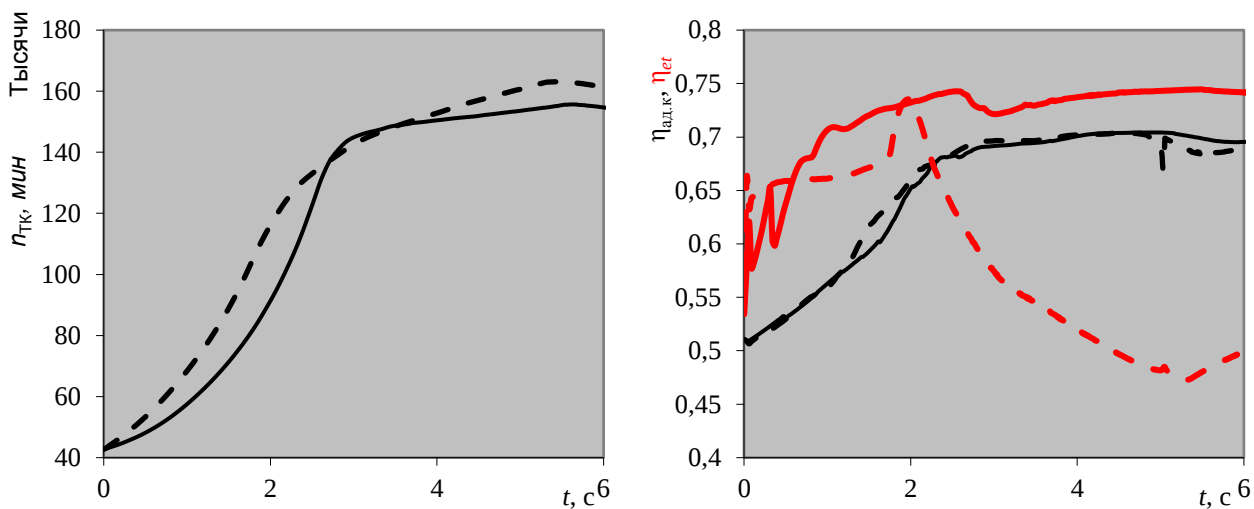


Рис. 1. Сравнение динамических ВСХ двигателя OM646 для режима разгона автомобиля MB Vito 109CDI с максимальным ускорением (— турбокомпрессор с WG регулированием; ---- турбокомпрессор с VNT регулированием):

n – частота вращения коленчатого вала; M_e – эффективный крутящий момент; α – коэффициент избытка воздуха; η_n – коэффициент наполнения.

Применение турбокомпрессора с VNT регулированием позволяет существенно увеличить эффективный крутящий момент двигателя в диапазоне частоты вращения коленчатого вала $n = 1300 \dots 2300 \text{ мин}^{-1}$. Как следствие время разгона автомобиля сокращается на 0,2 с, то есть на 3 %. При этом обеспечивается увеличение коэффициента избытка воздуха α в диапазоне частот вращения $n > 1800 \text{ мин}^{-1}$, что неизбежно приведёт к уменьшению дымности отходящих газов и снижению выбросов оксидов азота.



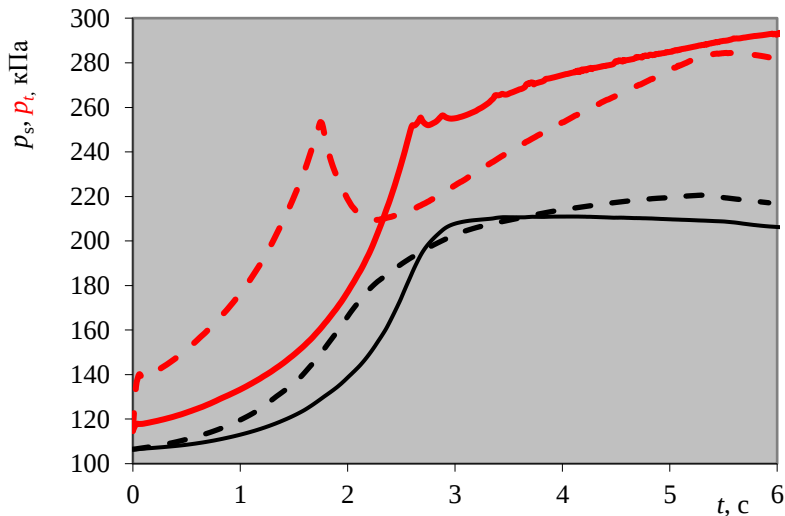


Рис. 2. Сравнение работы системы наддува двигателя OM646 для режима разгона автомобиля MB Vito 109CDI с максимальным ускорением (— турбокомпрессор с WG регулированием; --- — турбокомпрессор с VNT регулированием):

n_{TK} — частота вращения ротора турбокомпрессора; $\eta_{ад.к}$ — адиабатный к.п.д. компрессора турбокомпрессора; $\eta_{е.т}$ — эффективный к.п.д. турбины турбокомпрессора; p_s , p_t — давление наддувочного воздуха и отходящих газов перед турбиной соответственно.

Как видно, применение VNT регулирования позволяет существенно уменьшить время раскрутки ротора турбокомпрессора и, как следствие, приводит к более быстрому росту давления наддувочного воздуха. При этом в начальной фазе разгона давление газов перед турбиной существенно превышает значение для турбины с WG регулированием.

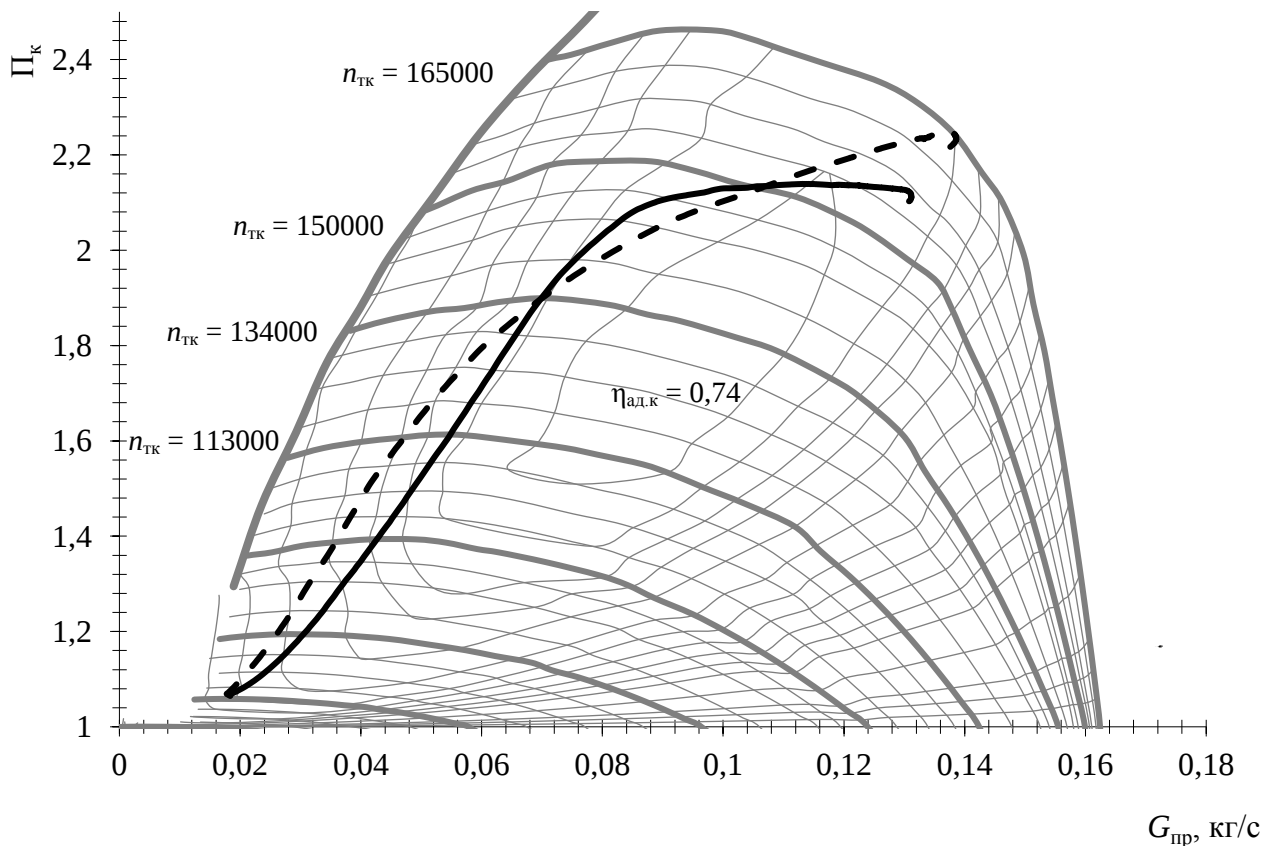


Рис. 3. Изменение положения рабочей точки компрессора при работе двигателя по динамической ВСХ, совмещённое с универсальной характеристикой компрессора турбокомпрессора Garrett 2052 (— турбокомпрессор с WG регулированием; ---- турбокомпрессор с VNT регулированием).

Совмещение динамических характеристик двигателя и универсальной характеристики турбокомпрессора для различного регулирования турбины наглядно демонстрирует эффект от применения соплового регулирования и, в частности, показывает, что при этом обеспечивается необходимый запас по помпажу.

Выводы. Проведенные исследования показали, что использование программного комплекса Блиц-PRO позволяет выполнять достаточно адекватное моделирование динамических характеристик автомобильных двигателей для режимов разгона автомобилей с механической трансмиссией. Показано, что при уровне давления наддувочного воздуха $p_s \approx 2 \text{ кг/см}^2$. применение VNT регулирования турбины турбокомпрессора позволяет существенно повысить динамические характеристики двигателя без опасности попадания компрессора в зону помпажа.

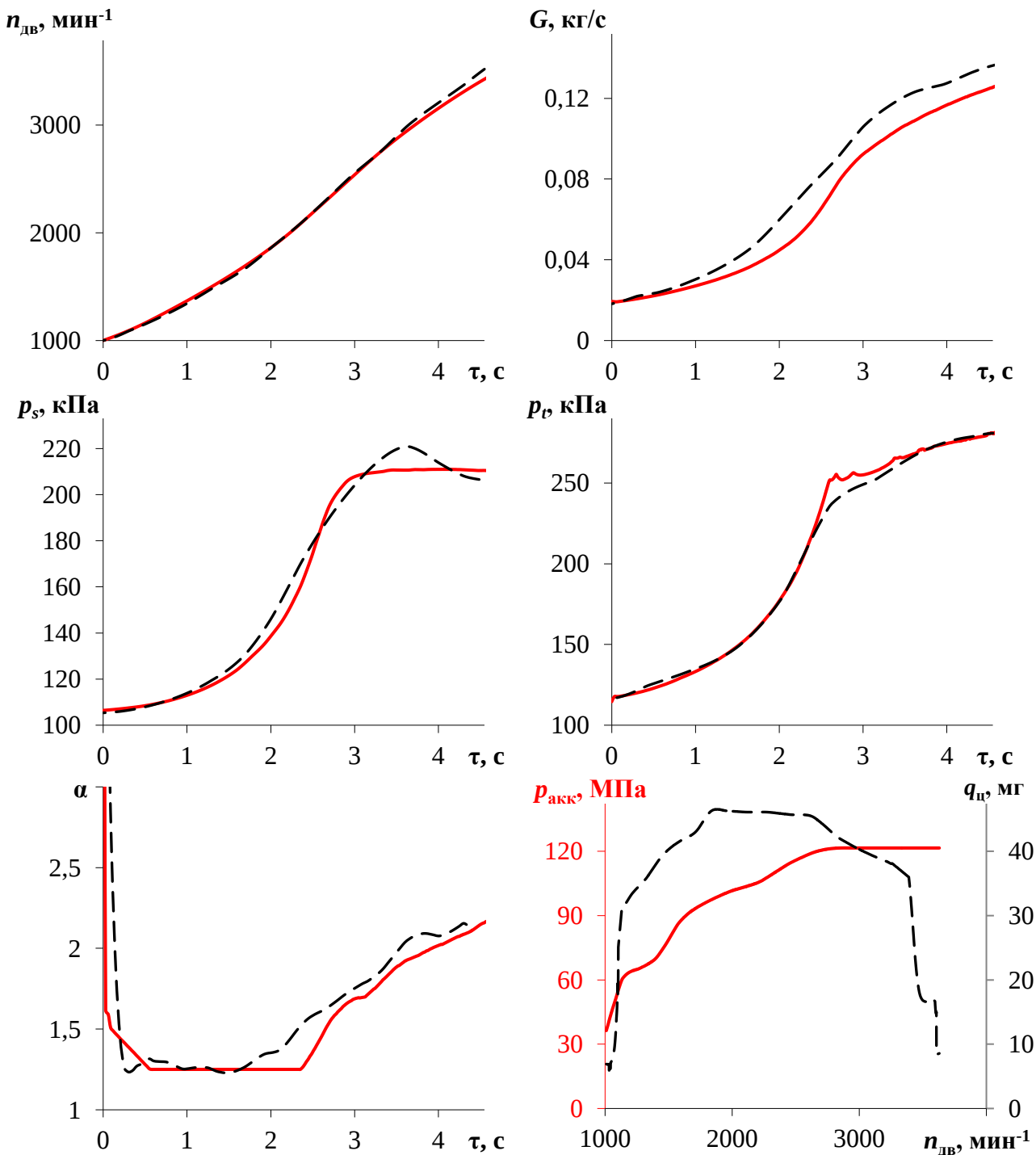


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчётных кривых для режима разгона MB Vito 109CDI с максимальным ускорением на II-й передаче. $n_{дв}$ – частота вращения коленчатого вала; G – расход воздуха; p_s – давление наддувочного воздуха; p_t – давление в выпускном коллекторе; α – коэффициент избытка воздуха; $p_{акк}$ – давление топлива в топливной рампе; q_u – цикловая доза впрыскиваемого топлива.

Литература

1. Минчев, Д. С. Повышение эффективности дизельных бесшатунных двигателей путём совершенствования схем и параметров системы наддува: дисс. ... к.т.н. наддува [Текст] / Д. С. Минчев. – Николаев, НУК, 2011. – 243 с.
2. Минчев, Д. С. Экстраполяция экспериментальных характеристик радиальных центробежных турбин турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Д. С. Минчев, Ю. Л. Мошенцев, А. В. Нагорный // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр.: Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – №10 (87). – Х., 2011. – С. 173-177.
3. Минчев, Д. С. Экстраполяция экспериментальных характеристик центробежных компрессоров [Текст] / Д. С. Минчев, Ю. Л. Мошенцев, А. В. Нагорный // Сборник научных трудов Национального университета кораблестроения. – №4. – Николаев, 2011. – С. 89-98.