

Увеличение температуры топлива на входе в цилиндр, в отличие от увеличения температуры воздуха, не будет приводить к существенному снижению мощности и эффективности двигателя.

Поэтому интенсификация процесса гомогенизации топливовоздушной смеси посредством подогрева топлива перед его подачей в цилиндр представляется весьма перспективной. Подогрев топлива будет эффективным и безопасным, если его осуществлять, например, горячим теплоносителем, взятым из системы охлаждения двигателя.

Наибольшее влияние на процесс испарения топлива, а следовательно, и гомогенизацию топливовоздушной смеси, как показал расчетный анализ, оказывает увеличение температуры поверхности поршня.

Увеличение температуры поршня до 500°C и выше может быть получено за счет установки на поршень накладки из жаропрочной стали с низким коэффициентом теплопроводности или посредством нанесения на поршень керамического покрытия.

Этот вывод был подтвержден результатами экспериментальных исследований на одноцилиндровом ДВС установки ИТ9-2 при его работе по циклу Отто-Дизеля. Устойчивое самовоспламенение топливовоздушной смеси на двигателе было получено только после установки на поршень накладки из жаропрочной стали.

Литература

1. Гусаков С.В., Вальеха Мальдонадо П., Довольнов А.М., Епифанов И.В. Транспортные ДВС с самовоспламенением гомогенного заряда. Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2008, № 5.
2. Гусаков С.В., Махмуд Мохаммед Эль Гобаши Эль Хачар Опыт моделирования рабочего процесса ДВС с воспламенением гомогенного заряда от сжатия. Вестник Российского университета дружбы народов, 2004, № 2 (9).
3. Калмалтдинов В.Г., Марков В.А. Расчетные исследования процесса сгорания и показателей рабочего цикла НССИ двигателя работающего на смеси природного газа и диметилового эфира. АГЗК+АТ № 6 (54)/2010.
4. Калмалтдинов В.Г., Марков В.А. Влияние температуры огневой поверхности цилиндра на процесс сгорания и показатели рабочего цикла НССИ двигателя. Грузовик, 2010, № 12.
5. Райков И.Я., Макаров А.Р., и др. Конструкция автомобиля: Том 2 – Двигатель, типография ФГУП НПО машиностроения, Москва 2001.
6. Брэдшоу П. Турбулентность. Машиностроение, М., 1981.
7. Singer B.A. Modeling the transition region // NASA CR 4492 – 1993.
8. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей М., Мир, 1991.
9. Jones W.P. Launder B.E. The calculation of low-Reynolds number phenomena with a two-equation model of flow near a spinning disc. // Letters in Heat and Mass transfer. -1974. -1, № 2.
10. Enwald H., Peirano E. and Almstedt A.E. Eulerian Two-Phase Flow Theory Applied to Fluidisation Int. J. Multiphase Flow, 22 Suppl., pp 21-66, 1996.
11. Gidaspow D. Multiphase Flow and Fluidisation. Academic Press, 1994
12. Костюков А.В., Макаров А.Р., Пустынцев М.Е., Каменный А.В. Двигатель, работающий с самовоспламенением гомогенной смеси от сжатия (НССИ-Процесс). Автомобильная промышленность, 2012, № 6.

Разработка системы двухступенчатого наддува для двигателей КАМАЗ EURO-5

д.т.н. проф. Каминский В.Н., Григоров И.Н., Каминский Р.В., Сибиряков С.В., Кучев С.М.,
Лихачев В.Н.

Университет машиностроения, НПО "Турботехника", НТЦ ОАО "КАМАЗ"
turbo@kamturbo.ru

Аннотация. Описывается разработанная система двухступенчатого наддува, позволяющая выполнить требования экологических норм EURO-5 на двигателях

КамАЗ.

Ключевые слова: наддув, двухступенчатый наддув, КамАЗ EURO-5.

В связи с необходимостью соблюдения международных экологических норм в НТЦ ОАО «КамАЗ» проводится работа по созданию систем двигателя, обеспечивающих выполнение норм EURO-5. Одной из главных задач в рамках этого проекта является разработка и проектирование системы наддува. В ходе совместной работы НПО «Турботехника» и НТЦ ОАО «КамАЗ» в НПО «Турботехника» была разработана программа расчета системы двухступенчатого наддува, состоящей из двух последовательно включенных в схему двигателя турбокомпрессоров низкого и высокого давления (рисунок 1). Дополнительно система снабжена охладителями надувочного воздуха после ступени низкого и высокого давления, а также системой рециркуляции отработавших газов. Для формирования характеристики двигателя в области номинальной мощности турбокомпрессор высокого давления снабжен перепускным клапаном в корпусе турбины.

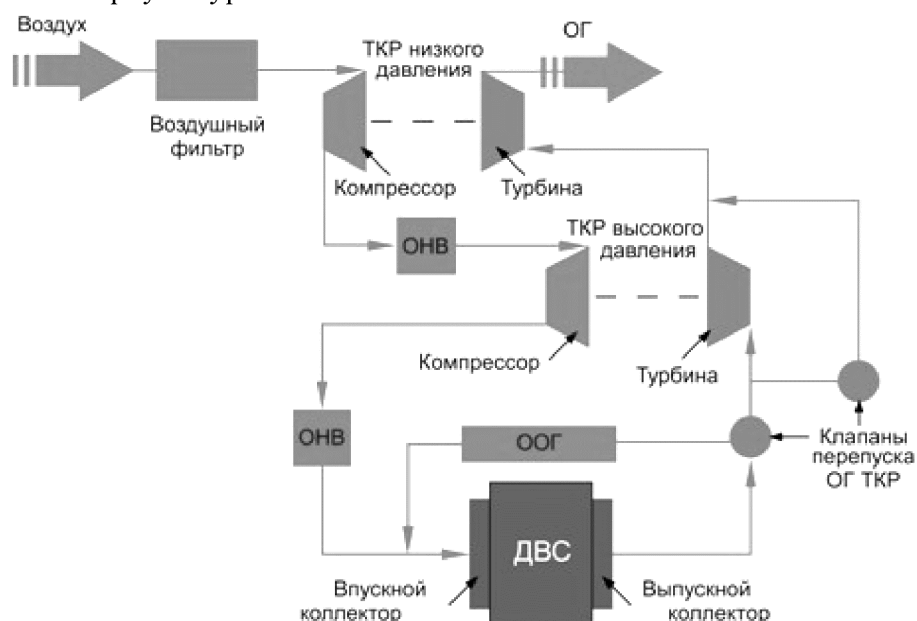


Рисунок 1 – Общая схема системы двухступенчатого наддува

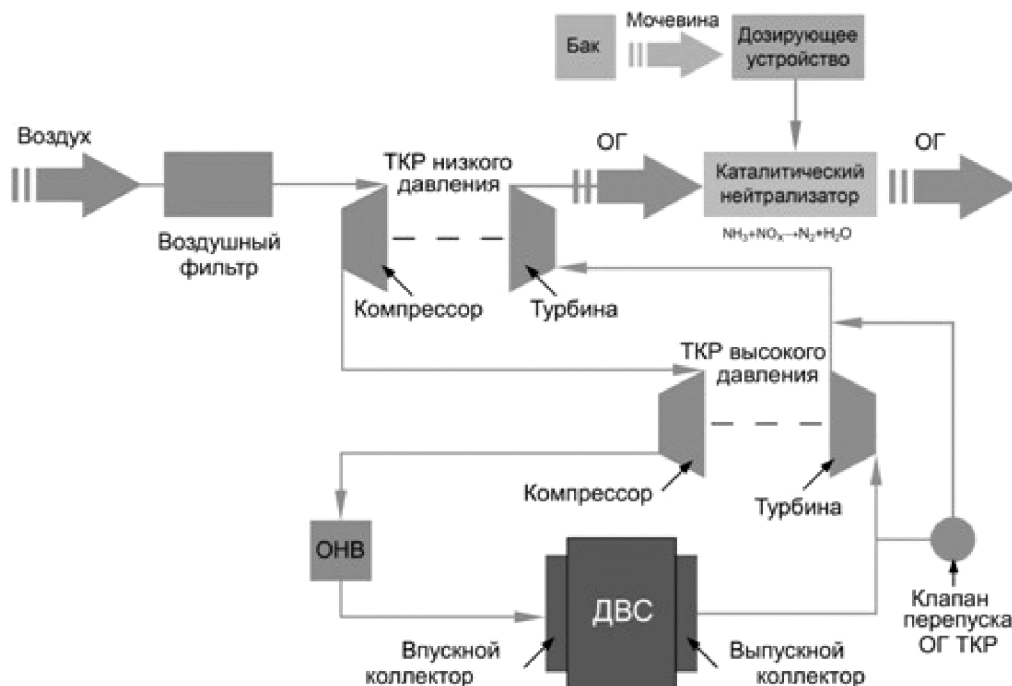


Рисунок 2 – Схема системы двухступенчатого наддува двигателя КамАЗ EURO-5

При совместной проработке НПО «Турботехника» и НТЦ ОАО «КАМАЗ» системы наддува для двигателя КамАЗ EURO-5 была принята схема с одним охладителем наддувочного воздуха после компрессора высокого давления, а система рециркуляции отработавших газов заменена на систему селективной каталитической нейтрализации (SCR) (рисунок 2). Система селективной каталитической нейтрализации основана на впрыске строго дозированного количества реагента в поток отработавших газов в присутствии катализатора, в результате чего происходит химическая реакция превращения вредных оксидов азота (NO_x) в безвредные вещества – азот и воду.

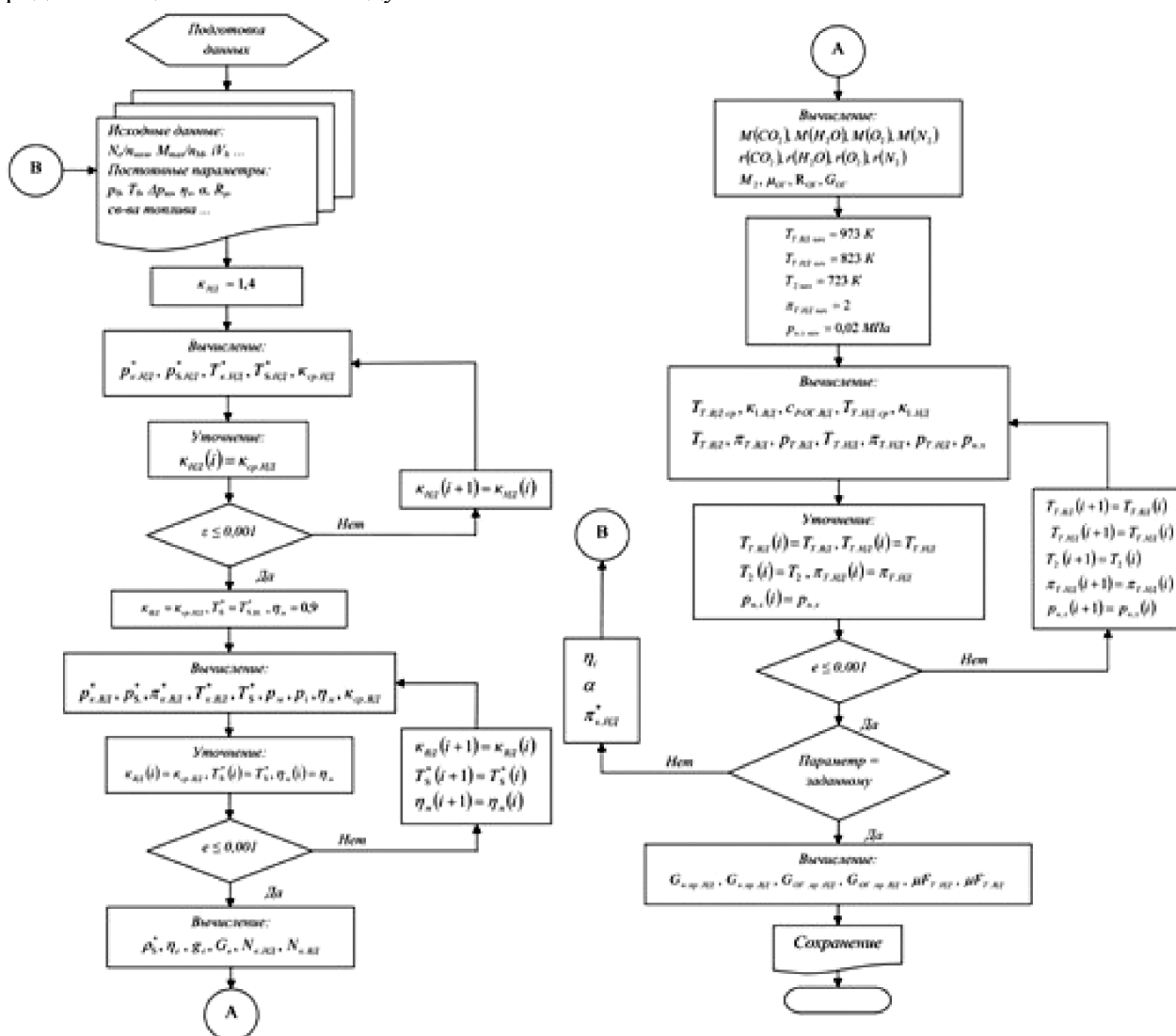


Рисунок 3 – Блок-схема расчета параметров наддува

При рассмотрении алгоритма расчета двухступенчатой системы наддува (рисунок 3) следует отметить существенные отличия данного метода расчёта от традиционно применяемых:

- формирование на первом этапе расчёта внешней скоростной характеристики двигателя по данным заказчика или по справочным [1, 2]. Количество расчётных режимов 5 и более;
- задание параметров цикла, используемых в расчёте, на основании аппроксимирующих зависимостей;
- учёт наличия рециркуляции отработавших газов;
- уточнение коэффициентов политроп сжатия воздуха в компрессоре и расширения газа в турбине в ходе расчёта методом последовательного приближения;
- определение располагаемых параметров газа перед турбиной на основе анализа теплоиспользования в цилиндре;
- определение необходимой пропускной способности турбины [3] и подбор конкретной

турбины и её геометрии из модельных рядов НПО «Турботехника» на основании заданных аппроксимирующих зависимостей;

- возможность проведения вычислений для достижения заданных значений площади начального сечения корпуса турбины FT0 [3, 4, 5], пропускной способности турбины μ_{FT} , температуры газа перед турбиной;
- в ходе расчёта на каждом режиме варьируются только три параметра.

В отличие от расчета одноступенчатой системы наддува, при расчете двухступенчатой системы необходимо не только согласование параметров ТКР с поршневой частью двигателя, но и согласование совместной работы ТКР НД и ТКР ВД.

На первом этапе расчёта на основании имеющихся технических данных двигателя КамАЗ EURO-5 и информации, приведенной в технической литературе [1, 2], сформирована внешняя скоростная характеристика двигателя (рисунок 4). Минимально необходимая информация для выполнения первого этапа расчёта – протекание крутящего момента и удельного эффективного расхода топлива двигателя по ВСХ.

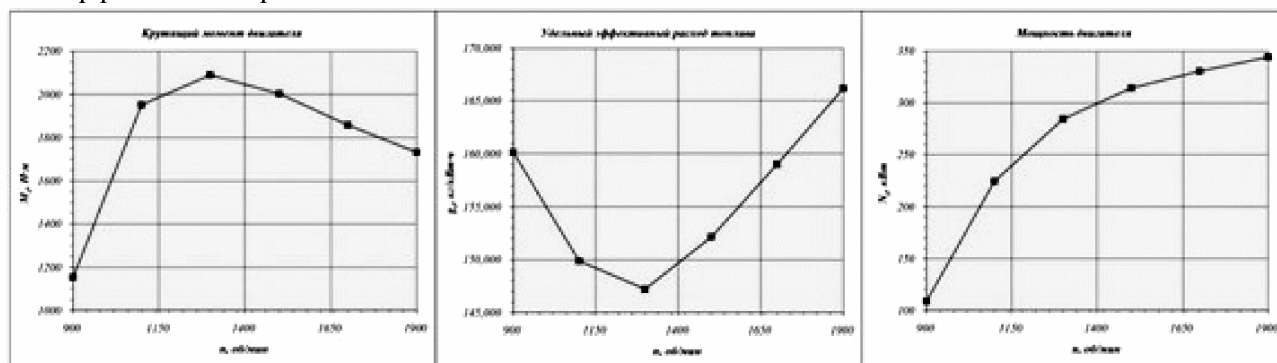


Рисунок 4 – Заданные параметры ВСХ двигателя КамАЗ EURO-5

На втором этапе по заданным параметрам ВСХ в расчетных точках последовательно решаются системы уравнений для определения необходимых параметров компрессоров низкого и высокого давления. Для определения необходимых параметров турбин низкого и высокого давления вводится итерационный процесс, за критерий сходимости принимается мощностной баланс турбокомпрессора, а именно: равенство мощностей компрессора и турбины ($N_{к.нд} = N_{т.нд}$ и $N_{к.вд} = N_{т.вд}$).

На третьем этапе по результатам расчета методом последовательного приближения уточняются следующие параметры:

- коэффициент избытка воздуха уточняется исходя из обеспечения максимальной температуры газа перед турбиной высокого давления 700 °С;
- индикаторный кпд цикла двигателя уточняется исходя из обеспечения заданного расхода топлива. При отсутствии заданного расхода топлива по ВСХ программа использует аппроксимирующую функцию расхода топлива;
- степень повышения давления турбокомпрессора низкого давления уточняется исходя из обеспечения расходной характеристики совместной работы двигателя и системы наддува при сопоставлении требуемых параметров двигателя и характеристик компрессорных ступеней низкого и высокого давления;
- адиабатический кпд компрессорной ступени и эффективный кпд турбинной ступени турбокомпрессора низкого и высокого давления.

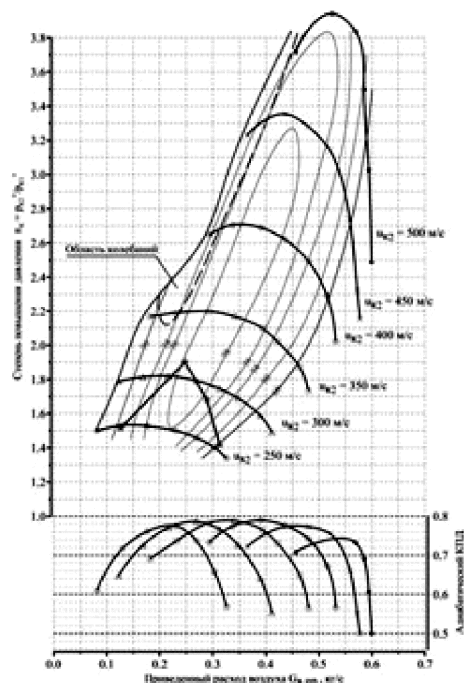
Подбор турбокомпрессоров выполнялся при наложении расходной характеристики двигателя на характеристики компрессорной (рисунок 5) и турбинной ступеней (рисунок 6).

В результате подбора были определены турбокомпрессоры:

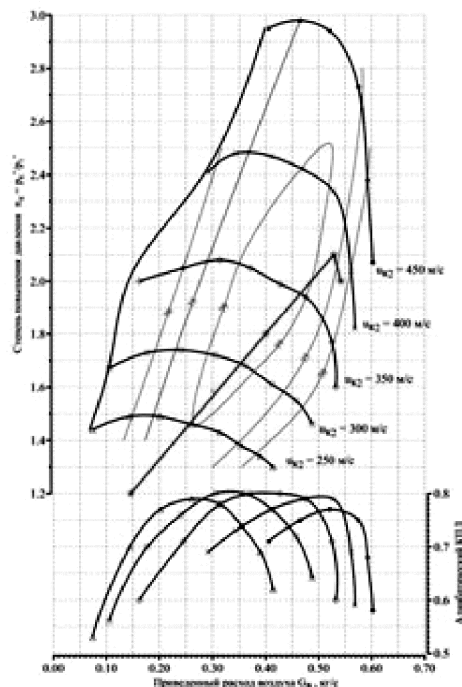
- ТКР низкого давления – ТКР 100-16;
- ТКР высокого давления – ТКР 90.06.12.

Анализируя результаты наложения расходной характеристики двигателя на характеристики компрессорной и турбинной ступеней, следует отметить следующее:

- характеристики компрессорной ступени ТКР низкого и высокого давления хорошо согласуются с расходной характеристикой двигателя, обеспечивая большой запас по помпажу;
- характеристики турбинной ступени ТКР низкого и высокого давления обеспечивают требуемую мощность компрессора по всей расходной характеристики двигателя. Для обеспечения требуемой мощности компрессорной ступени пропускная способность турбины μFT и приведенный расход газа ГГ ПР должны располагаться ниже расходной характеристики двигателя.

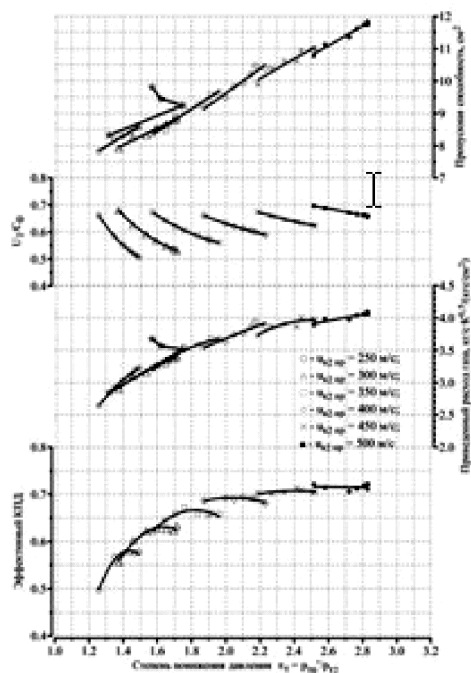


ТКР 90.06.12

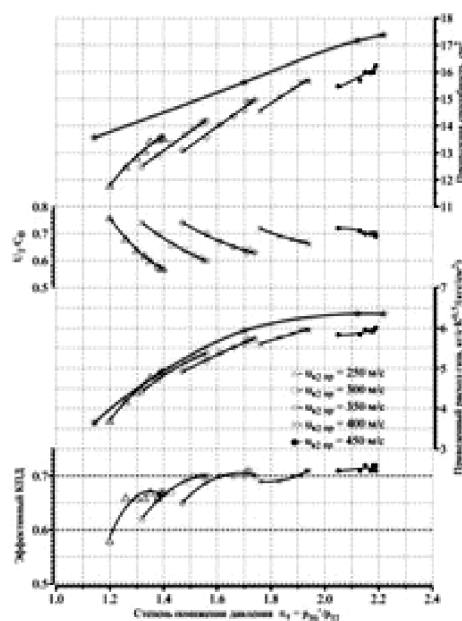


ТКР 100-16

Рисунок 5 – Характеристики компрессоров ТКР 90.06.12 и ТКР 100-16 с расходной характеристикой двигателя КамАЗ EURO-5



ТКР 90.06.12



ТКР 100-16

Рисунок 6 – Характеристика турбин ТКР 90.06.12 и ТКР 100-16 с расходной характеристикой двигателя КамАЗ EURO-5

На основании выполненного расчета первоначально произведена компоновка 3-мерной модели систему двухступенчатого наддува при помощи программно-вычислительные комплекс Pro/ENGINEER Wildfire 3.0. с согласованием габаритно-присоединительных размеров с НТЦ ОАО "КАМАЗ", а впоследствии данная система наддува была смонтирована на двигателе КамАЗ EURO-5 (рисунок 7).

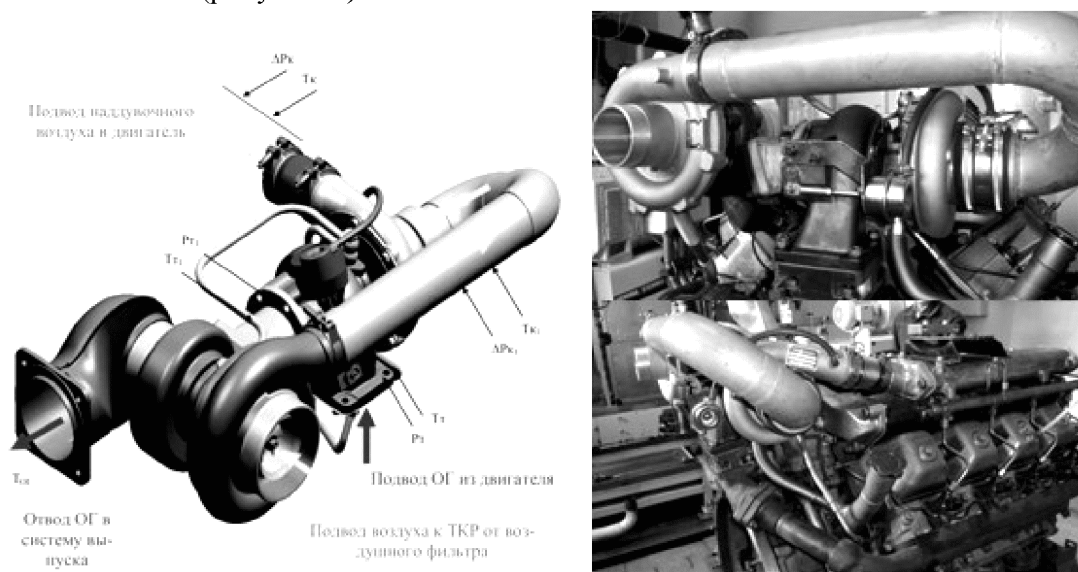


Рисунок 7 – Компоновка системы двухступенчатого наддува двигателя КамАЗ EURO-5

Результаты стендовых моторных испытаний показали (рисунок 8), что система последовательного двухступенчатого наддува производства НПО "Турботехника" позволяет существенно улучшить параметры двигателя по всей ВСХ и особенно в области низких частот вращения, обеспечивая при этом экологические нормы EURO-5.

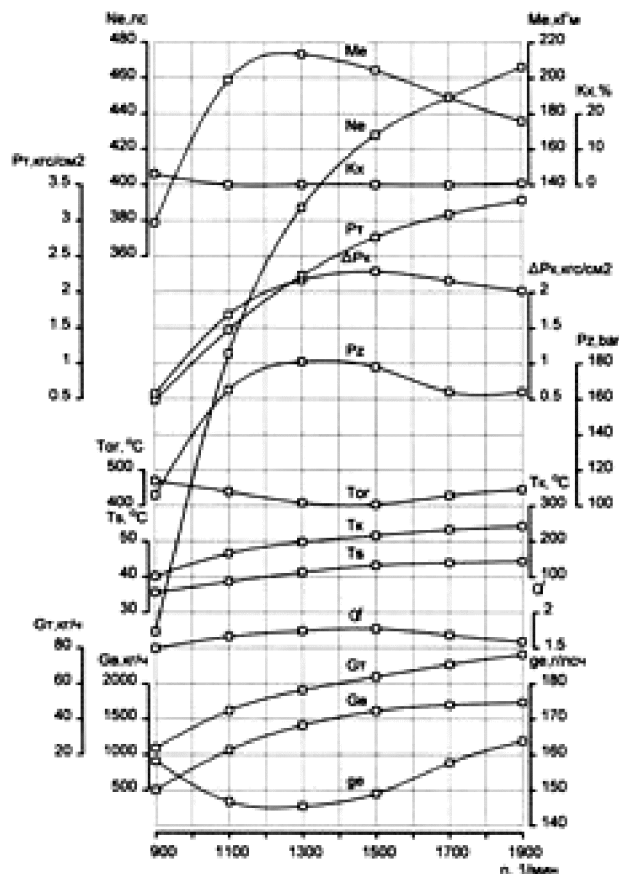


Рисунок 8 – ВСХ двигателя КамАЗ EURO-5 с использованием двухступенчатого наддува производства ЗАО «НПО «Турботехника»

В результате анализа полученных расчётных параметров системы наддува и моторных испытаний двигателя КамАЗ EURO-5 (рисунок 9) доказано, что разработанная программа расчета системы двухступенчатого наддува обеспечивают хорошую сходимость результатов расчёта и моторных испытаний двигателя, тем самым подтверждая эффективность и адекватность разработанной модели расчета.

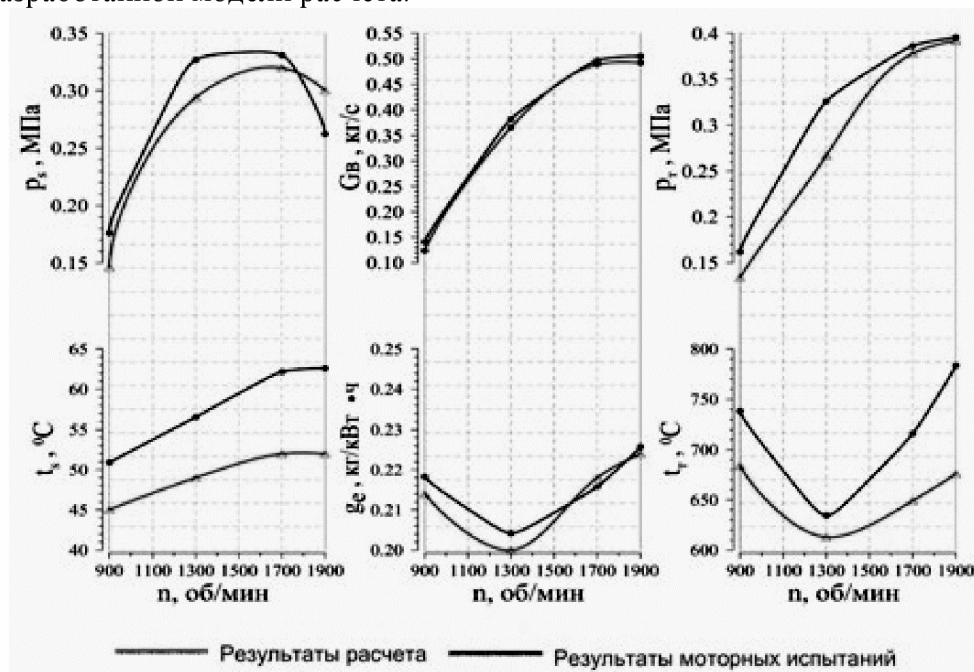


Рисунок 9 – Сравнительные результаты расчёта параметров системы наддува и моторных испытаний двигателя КамАЗ EURO-5

Выводы

Разработанная методика расчёта 2-х ступенчатой системы наддува обеспечивает хорошую сходимость результатов расчёта и моторных испытаний двигателя.

Эффективность системы наддува определяется качеством согласования и достигнутым уровнем эффективности ТКР, входящих в состав системы.

Эффективность двухступенчатой системы наддува оказывает непосредственное влияние на показатели двигателя: на режимах с большей эффективностью двигатель имеет более высокий уровень наддува, лучшие показатели по дымности и удельному расходу топлива. Повышение уровня наддува на низких оборотах двигателя позволяет снизить выбросы оксида углерода и твердых частиц.

Эффективность работы системы наддува в целом определяется также качеством проектирования её составляющих.

Литература

1. Орлин А.С., Круглов М.Г. и др. Двигатели внутреннего сгорания. 4 изд. кн.4. Системы поршневых и комбинированных двигателей. М., Машиностроение, 1985.
2. Луканин В.Н., Шатров М.Г., и др. Двигатели внутреннего сгорания: Кн. 1: Теория рабочих процессов. М. Высш. шк., 2005.
3. Лямцев Б.Ф., Микеров Л.Б. Турбокомпрессоры для наддува двигателей внутреннего сгорания. Теория, конструкция и расчет. Учебное пособие. Ярославль, 1995.
4. Симсон А.Э., Каминский В.Н., Моргулис Ю.Б., Поветкин Г.М., Азбель А.Б., Кочетков В.А.. Турбонаддув высокооборотных дизелей. М., «Машиностроение», 1976. 288с.
5. Лашко В.А. Методы оценки эффективности систем газотурбинного наддува комбинированных двигателей внутреннего сгорания. Хабаровск, 2006.