

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Е.А. Задорожная, к.т.н., доцент; ЮУрГУ, кафедра АТ и сервис, г. Челябинск
А.П. Маслов, к.т.н.; ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК» ГСКБД, г. Челябинск*

Представлены основные конструктивные и технические решения, направленные на повышение литровой мощности двигателей размерности 13/15 до 75 л. с., подготовка серийного производства которых завершается на ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК». Оценка эффективности представленных технических решений базируется на системе виртуальных испытаний с применением CALS/ИПИ технологий.

В соответствии с целями и задачами государственного контракта, на ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК» выполняется разработка технологии производства унифицированного ряда высокофорсированных двигателей мощностью 650–900 л. с. Основная цель ОКР — создание Российской технологии производства конкурентоспособных дизельных двигателей для обеспечения потребностей рынка коммерческих моторов.

Разработка конструкции форсированного двигателя размерностью $D/S = 13/15$ базировалась на опыте, полученном при создании рядного дизельного двигателя 6Т370. Параметры двигателей серии «Т» получены в соответствии с концепцией, разработанной специалистами завода [1]. Для обеспечения максимальной унификации с базовой моделью была сохранена размерность 13/15 и использованы некоторые апробированные технические решения для элементов и деталей двигателей, освоенных на заводе в серийном и опытном производстве. Общий вид высокофорсированных двигателей унифицированного ряда «Дизель-Б» представлен на рис. 1.

Техническим заданием по контракту предусмотрено достижение литровой мощности двигателя до 75 л. с., в отличие от двигателей серии «Т», уровень литровой мощности которых составляет 25–35 л. с. Требование значительного повышения литровой мощности двигателей поставило перед разработчиками ряд серьезных задач, направленных на обеспечение надежности, экономичности и экологических показателей новых двигателей.



Специалистами ЮУрГУ и ГСКБД были проведены расчетно-экспериментальные исследования для определения возможностей и технических условий создания дизельного двигателя с заданными в техническом задании параметрами (смотри таблицу).

Сравнительная оценка расчетных значений рабочих параметров базового и перспективного двигателей

Параметры рабочего процесса	Двигатель серии «Т»	Двигатель «Дизель-Б»
Литровая мощность двигателя, л. с./л	30	75
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	2100	2500
Максимальное давление газов в цилиндре, МПа	14	23
Среднее эффективное давление цикла, МПа	1,26	2,66
Степень сжатия	16	Не более 14
Степень охлаждения наддувочного воздуха, °С	70	Не менее 150
Отношение объема камеры сгорания к объему пространства сжатия	Не менее 0,75	Не менее 0,75
Доля объемного смесеобразования	Не менее 0,85	Не менее 0,85
Вихревое отношение воздушного заряда	1,2	Не менее 1,6–2,5
Максимальное давление впрыскивания топлива, МПа	118	Не менее 180
Температура выпускных газов, °С	650	700–750

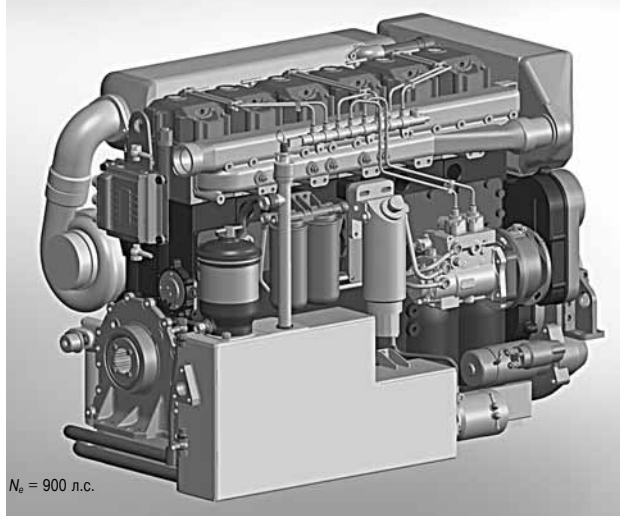
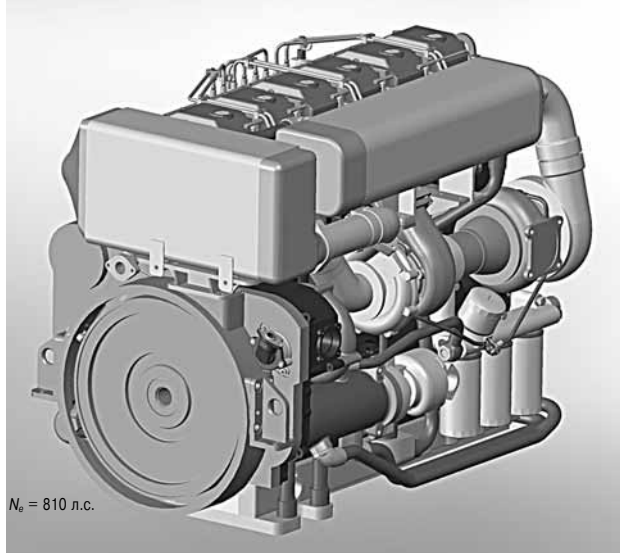
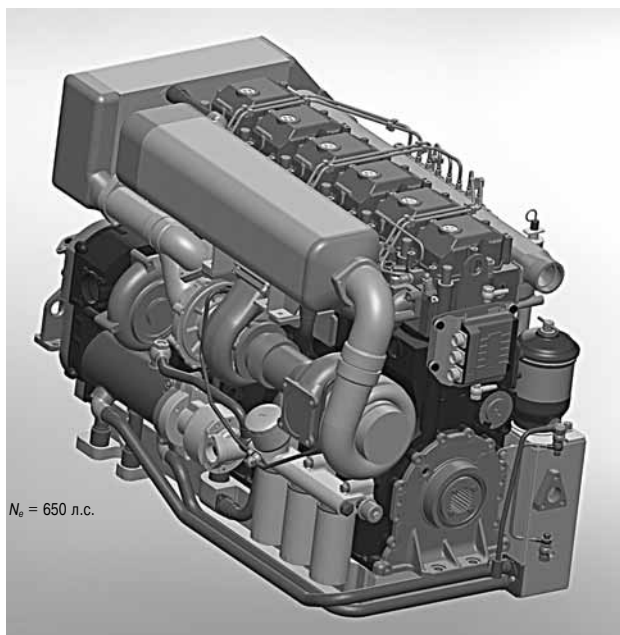


Рис. 1. Унифицированный ряд высокофорсированных двигателей «Дизель-Б»

Сравнительный анализ результатов расчетных исследований показал, что для существенного увеличения литровой мощности двигателя «Дизель-Б» необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить в необходимом объеме своевременную подачу топлива;
- обеспечить подачу воздуха с заданными параметрами в камеру сгорания.

Для выполнения требований, связанных с подачей топлива в цилиндр двигателя, было принято решение использовать топливную аппаратуру типа common rail с электронной системой управления. С этой целью выполнены работы по разработке программного обеспечения и размещения элементов топливной системы на двигателе. Разработка программного обеспечения для управления работой топливной аппаратуры была выполнена совместно со специалистами ООО «АБИТ» (Санкт-Петербург). Алгоритм управления включает калибровку топливной системы в режиме реального времени, что позволит ускорить адаптацию блока управления к любому двигателю с топливоподающей аппаратурой типа common rail. Трехмерная модель системы управления и размещение топливной аппаратуры на двигателе представлены на рис. 2.

Надежная работа двигателя обеспечивается согласованной и оптимизированной работой систем топливоподачи и воздухообеспечения, которая в зависимости от мощности двигателя комплектуется одноступенчатой или двухступенчатой системой турбонаддува (рис. 3) с промежуточным охлаждением надвучного воздуха после каждой ступени.

Представленные на рисунке конструктивные схемы систем воздухообеспечения устанавливаются на двигатель в зависимости от уровня номинальной мощности. Первый вариант предусматривает установку системы одноступенчатого наддува с промежуточным охлаждением для двигателя мощностью 650 л. с., а второй вариант — для двигателей мощностью 810 и 900 л. с.

Представленные конструктивные схемы систем наддува позволяют снизить температуру поступающего в двигатель воздуха и, как следствие, повысить коэффициент наполнения цилиндров воздушным зарядом.

Разработанные совместно со специалистами ОАО НИИД конструкции теплообменников «воздух—охлаждающая жидкость» и «охлаждающая жидкость—масло» выполнены в соответствии с требованиями технического задания как по габаритным, так и по функциональным характеристикам.

Компоновка теплообменников выполнена с учетом конструктивных особенностей двигателей,

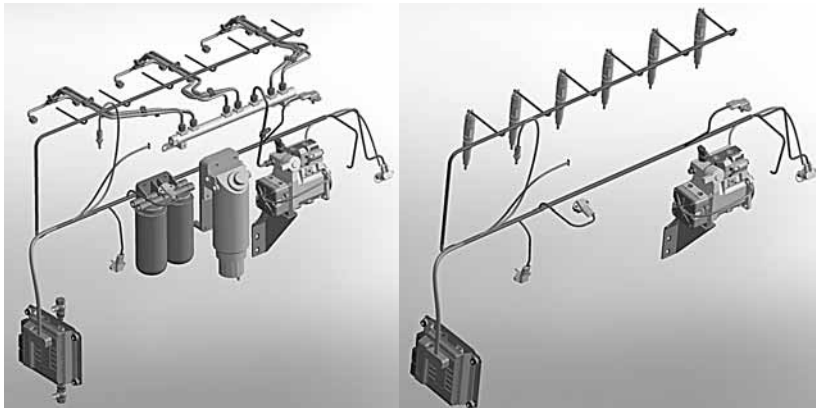


Рис. 2. Модель системы управления и размещения ее на двигателе «Дизель-Б»

представленных на рис. 1. Технические характеристики теплообменников при температуре охлаждающей жидкости 80 °С на входе обеспечивали снижение температуры масла до 120 °С. При этом был обеспечен расход охлаждающей жидкости в пределах 400 л/мин и расход масла до 160 л/мин, что соответствовало требованиям по обеспечению необходимого и достаточного уровня маслонасыщения подшипников скольжения и других трибосопряжений двигателя.

Высокий уровень тепловой и силовой напряженности деталей цилиндропоршневой группы

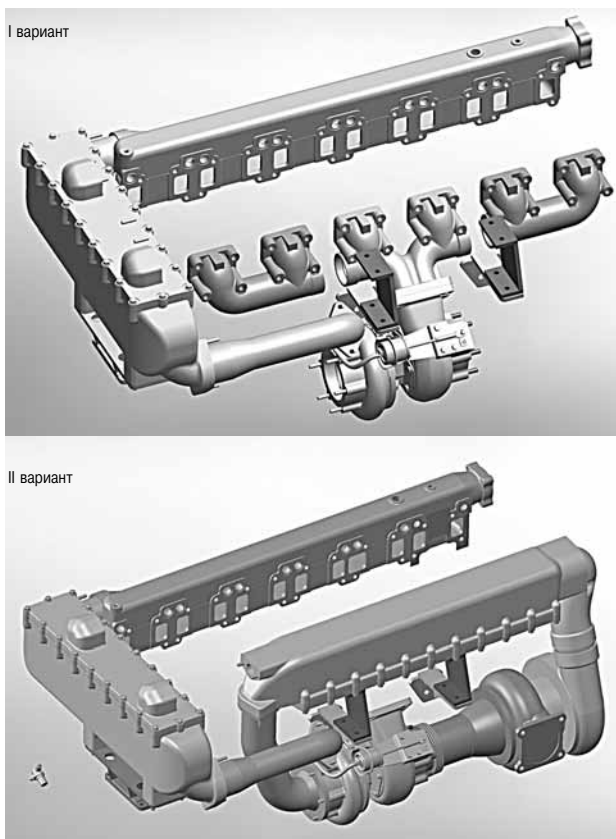


Рис. 3. Конструктивные особенности систем воздухообеспечения двигателей «Дизель-Б»

вызвал необходимость изменения конструкции поршня за счет применения новых материалов. Было рассмотрено два варианта конструкции:

- шарнирно-сочлененный поршень со стальной головкой и юбкой, выполненной из алюминиевого сплава;
- цельносталый поршень с нанесением антифрикционного покрытия на образующую поверхность юбки поршня.

Конструктивно внутренняя полость разработанных поршней позволяет применить метод галерейного охлаждения головок как шарнирно-сочлененного, так и цельносталого поршня. Материал, из которого изготавливается головка поршня — сталь 40ХЛ, материал юбки поршня — алюминиевый сплав АК-12Д. Оба варианта конструкции поршней изготовлены для проведения сравнительных испытаний. По результатам испытаний будет принято окончательное решение о применении той или иной конструкции. Расчетные исследования сопряжения поршень–цилиндр были выполнены в соответствии с методикой, представленной в работе [2].

Существенное увеличение силовых факторов вызвало необходимость повышения жесткости и прочности конструкции блок-картера двигателя. С этой целью применена цельнолитая конструкция, объединяющая в единую отливку нижнюю часть картера и блок цилиндров. Конструкция блока-картера форсированного дизеля характеризуется следующими особенностями:

- плоскость разъема с поддоном размещена ниже оси коленчатого вала, при этом за счет удлинения боковых стенок было достигнуто повышение продольной жесткости блок-картера;
- боковые стенки в нижней части блок-картера между перегородками имеют бочкообразную форму, что также способствует повышению прочностных свойств блок-картера;
- в полость механизма газораспределения введены ребра жесткости, соединяющие стенки цилиндров с наружной стенкой картера;
- полость для охлаждающей жидкости выполнена в виде коллектора, отлитого вдоль блока-картера, с окнами дифференцированного сечения для подвода охлаждающей жидкости к верхней и нижней части каждого цилиндра.

Общий вид блок-картера представлен на рис. 4. Методика расчета и некоторые результаты численных исследований трибосопряжений дви-

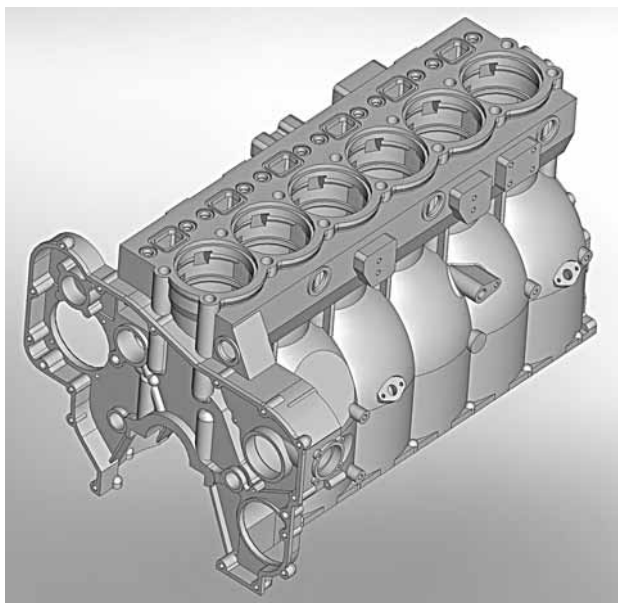


Рис. 4. Общий вид модернизированного блок-картера

двигателя с учетом геометрических особенностей блок-картера опубликованы в работе [3].

Еще одним важным элементом, обеспечивающим работоспособность форсированного двигателя, является система подшипников скольжения с повышенными прочностными и антифрикционными свойствами (гидродинамическое давление в смазочном слое достигает 70 МПа). Как один из возможных вариантов в двигателе могут быть использованы подшипники скольжения фирмы «Otto Wolff» (Miba), имеющие в своей основе композиционные материалы, обладающие необходимыми свойствами. Сравнительная оценка работоспособности подшипникового узла двигателя выполнена на основе параметрических исследований, методом оценки влияния нагрузочных параметров на гидромеханические характеристики шатунных и коренных подшипников, методика которых представлена в работе [4].

Также была выполнена оценка напряженно-деформированного состояния коленчатого вала двигателя. Комплексная оценка пятен контакта и характера износа в трибосопряжении выполнена на основе энергетической и молекулярно-механической теории трения и изнашивания, а также с помощью расчетно-экспериментальной методики, разработанной сотрудниками ЮУрГУ [5]. Данный подход позволяет выполнить не только оценку возможного расположения пятен контакта поверхностей трибосопряжений, но и дать количественную оценку степени износа этих поверхностей.

Программа виртуальных исследований оценки работоспособности подшипников скольжения коленчатого вала, выполнена в соответствии с

алгоритмом, изложенным в работе [6]. Общие положения метода виртуальных испытаний двигателя были разработаны в соответствии с принципами, изложенными в работе [7], и включают следующие расчетные модели:

- модель для описания динамики подвижных элементов;
- математические модели для изучения гидродинамических, тепловых, химических и др. процессов, происходящих в смазочных слоях пар трения;
- модели и методы для исследования процессов сгорания;
- подсистему компьютерного моделирования трибосопряжения вал-подшипник;
- подсистему идентификации математической модели подшипникового узла;
- подсистему планирования виртуального эксперимента и имитации измерений;
- энергетическую и молекулярно-механическую модели трения и изнашивания;
- подсистему компьютерного моделирования изнашивания сопряжения;
- подсистему расчетной оценки ресурса сопряжения.

Таким образом, на ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК» выполнены расчетные исследования по повышению технических параметров высокофорсированных двигателей с применением методов и результатов виртуальных испытаний. Виртуализация испытаний может быть использована при подготовке производства любых типов и классов двигателей, позволяет более детально оценить результаты реальных испытаний двигателя и оценить степень их достоверности.

Литература

1. Мурзин В.С., Маслов А.П. Формирование концепции модельного ряда двигателей серии «Т» ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК» // Двигателестроение. — 2009. — № 2. — С. 43–44.
2. Рождественский Ю.В., Гаврилов К.В., Дойкин А.А., Макарихин М.А. Решение задач оптимизации трибосопряжений поршневых и роторных машин с использованием алгоритма сохранения массы // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2011. — № 8. — С. 38–43.
3. Рождественский Ю.В., Хозенюк Н.А., Мильников А.А. Методика расчета системы коренных подшипников коленчатого вала в учете податливости блок-картера двигателя // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2011. — № 12. — С. 40–45.
4. Задорожная Е.А., Леванов И.Г., Пырьев С.А. Расчет сложнонагруженных трибосопряжений высокофорсированного дизеля // Вестник машиностроения. — 2013. — № 12. — С. 42–47.
5. Goryacheva I.G., Morozov A.V., Rozhdestvensky Yu. V., Gavrilov K.V., Doikin A.A. Development of method for

calculating and experimentally evaluating tribological parameters of piston-cylinder tribosystem of diesel engine // Development of method for calculating and experimentally evaluating tribological parameters of piston-cylinder tribosystem of diesel engine // Journal of Friction and Wear. — 2013. — Volume 34. — Issue 5. — P. 339–348.

6. Прокопьев В.Н., Задорожная Е.А., Караваев В.Г., Леванов И.Г. Совершенствование методики расчета

сложнонагруженных подшипников скольжения, смазываемых неньютоновскими маслами // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2010. — № 1. — С. 63–67.

7. Маслов А.П. Формирование информационного пространства по созданию силовых модулей на основе CALS/ИПИ технологий // Двигателестроение. — 2013. — № 2. — С.33–36.

КОНФЕРЕНЦИИ. СЕМИНАРЫ. ВЫСТАВКИ

Уважаемые коллеги!

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, 8–12 сентября 2014 г. проводит Международную научно-техническую конференцию «УРАЛ-ТРИБО». Конференция организована при поддержке Межведомственного научного совета по трибологии при РАН, Минобрнауки РФ, Совета НИО, Уральского отделения Российской академии транспорта и ОАО «ЧТЗ-УРАЛТРАК».

Приглашаем Вас принять участие в работе конференции по следующим основным направлениям:

- Фундаментальные проблемы трибологии (пленарное заседание);
- Трибология в двигателестроении;
- Трибология в турбостроении;
- Трибология на транспорте.

Рабочие языки конференции — русский и английский. Заседания секций планируется проводить на базе отдыха «Наука» ЮУрГУ на берегу озера Большой Сунукуль.



Материалы докладов будут изданы до начала работы конференции и вручены ее участникам. Наиболее интересные доклады будут рекомендованы к публикации в ведущих научных журналах

из перечня ВАК РФ для представления научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Требования к формированию докладов, информация об участниках программного и организационного комитетов, план проведения мероприятий и другая полезная информация представлены на сайте ЮУрГУ:

<http://atfakultet.ru/>.

Для участия в работе конференции заявки просим направлять в оргкомитет до 20 апреля 2014 г. на электронный адрес организационного комитета

kafat@susu.ac.ru.

Контактный адрес:

454080, Челябинск, пр. Ленина, 76, ЮУрГУ, кафедра «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей»,

тел: (351)267-92-13.