

**Выводы**

В результате проведенного моделирования механических потерь в дизеле с газотурбинным наддувом установлено:

1 Предложенная многофакторная модель позволяет, с достаточной точностью, определить механические потери в двигателе, в диапазоне рабочих режимов по данным стендовых испытаний.

2 Предлагаемый метод позволяет определять индикаторные показатели на всех возможных режимах работы двигателя, как в эксплуатации, так и при стендовых испытаниях по доводке двигателей.

3 Данный метод может быть применен при диагностировании двигателя, в том случае если диагностирование основано на мониторинге его основных показателей.

**Список литературы:**

1. *Тракторные дизели: Справочник*/ Б.А. Взоров, А.В. Адамович, А.Г. Арабян и др.; под общ. ред. Б.А. Взорова. – М.: Машиностроение, 1981.-535с.
2. И.В. Парсаданов Многофакторный анализ потерь на трение в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // *Двигатели внутреннего сгорания*. – №1. – 2005. – с. 106-110 с.
3. Парсаданов И.В., Белик С.Ю. Оценка насосных потерь в автотракторном дизеле с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – №33. – 2007. – 136-139 с.
4. Парсаданов И.В. Многофакторный анализ механических потерь в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // *Двигатели внутреннего сгорания*. – №1. – 2008. – 34-37 с.
5. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згорання. Теорія / Дяченко В.Г. – Харків: НТУ «ХПИ», 2008. – 488с.
6. Сівих Д.Г. Обґрунтування та реалізація методів експлуатаційного моніторингу та автоматизованого діагностування автотракторних дизелів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / Д.Г. Сівих. – Харків, 2008, 20 с.

УДК 629: 621.431

*В.В. Коробко, канд. техн. наук, С.В. Коробко, инж.*

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПЕРЕХОДНИКЕ ДАТЧИКА КИСЛОРОДА И В ВЫПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ДВС

**Введение**

Современные высокооборотные ДВС оснащены инжекторными системами впрыска топлива. Эти системы комплектуются микропроцессорными блоками управления – ECU, которые должны обеспечивать оптимальное смесеобразование и момент зажигания смеси. Работа управляющих блоков обеспечивается системой датчиков, которые фиксируют параметры ДВС, окружающей среды, состав отходящих газов.

Контролер ECU, согласно своей программы, анализирует поступающую информацию и управляет впрыском топлива и зажиганием смеси. В случае отказа (полного или частичного) одного либо нескольких датчиков характеристики ДВС неизбежно ухудшаются, что ведет к перерасходу топлива, потере мощности или отказу двигателя.

**Цель и постановка задачи**

Характерным отказом для современных высокофорсированных ДВС с турбонаддувом является преждевременный выход из строя лямбда зонда. Этот датчик работает в очень напряженных условиях, которые отличаются высокой температурой газов, нередко превышающей 1100 °К – 1300 °К, наличием в потоке продуктов неполного сгорания топли-

ва, частиц масла. Это и есть основные причины преждевременного выхода его из строя и постепенного изменения характеристик.

Современные, датчики кислорода надежно работают при температурах от 600 °К до 900 °К, но имеют ограниченный ресурс при температурах не выше 1100 °К. При низких температурах газов, до 600 °К, в режиме прогрева двигателя, рабочая температура чувствительного элемента может обеспечиваться встроенным электрическим подогревателем.

Чувствительность и скорость реагирования датчиков кислорода в условиях перегрева существенно снижаются [3], что ведет к некорректной работе системы, управляющей смесеобразованием (рис. 1).

В результате перегрева датчика характеристики двигателя, особенно при максимальных нагрузках, ухудшаются.

Частичное изменение выходных параметров лямбда-зонда диагностируется сложно, так как двигатель сохраняет свою работоспособность, а тестирование проводится не на режимах максимальных нагрузок. Работа двигателя с некорректно работающим датчиком ведет к росту расхода топлива, снижению ресурса двигателя, загрязнению катализатора.

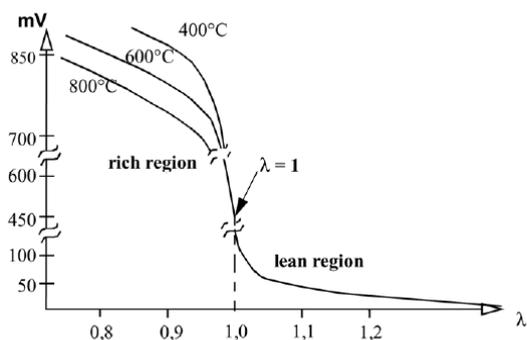


Рис.1 Влияние температуры газов на уровень выходного сигнала узкополосного лямбда-зонда

Необходимо отметить, что некоторые производители датчиков кислорода стали оснащать их дополнительными колпачками, которые должны предохранить сенсор от перегрева и загрязнений. Защиту от загрязнений они обеспечивают, но как средство от чрезмерного перегрева такие колпачки малоэффективны [4].

Цель работы - путем численного моделирования гидродинамических и теплофизических параметров потока определить оптимальную конструкцию переходника, который может защитить зонд от перегрева, не ухудшая его характеристики – чувствительность и быстродействие.

#### Вариант решения задачи

Для защиты датчиков от перегрева предлагается использовать переходники. Возможные варианты конструкций этих переходников показаны на рис. 2. Эти детали устанавливаются в выпускном коллекторе двигателя (рис. 3). Датчик кислорода монтируется непосредственно в тело переходника.

Переходник может иметь развитую внешнюю оребренную поверхность, за счет которой обеспечивается теплоотвод, снижающий температуру газов, омывающих поверхность датчика. Переходники должны удовлетворять ряду требований:

- Обеспечить требуемый уровень теплоотвода;
- Иметь хорошую «продуваемость», так как датчик должен реагировать на состав уходящих газов с минимальной задержкой;
- Быть технологичными при монтаже и изготовлении.

Переходники отличаются друг от друга формой и расположением внутренних каналов, которые организуют движения газов в полостях. Лучшей конструкцией будет та, которая обеспечит хороший газо-

обмен у поверхности лямбда-зонда и снизит максимальную температуру газов у поверхности до уровня 900 °К.



Рис.2. Варианты переходников (разрезы)

Для предварительной оценки свойств переходников и отбора наиболее рациональных конструкций было проведено численное моделирование гидродинамических и тепловых процессов в газораспределительном коллекторе и объеме переходника.

Компьютерная модель позволила изучить процессы в коллекторе и во внутренних полостях переходников в тех областях, где физический эксперимент крайне затруднен.



Рис. 3. Колено газораспределительного коллектора

В качестве объекта исследований был взят выпускной коллектор автомобильного двигателя с газотурбинным наддувом, объемом 1999 см<sup>3</sup>. Двигатель оборудован полным комплектом штатных датчиков, блоком ECU, расходомером воздуха с расширенными функциями, широкополосными лямбда-зондами, катализатором.

#### Методика моделирования

В данной работе был использован CFD пакет FLOW VISION, предлагаемый фирмой ТЕСИС [2]. Этот программный продукт обладает рядом отличительных свойств, существенно облегчающих реше-

ние исследовательских и инженерных задач, а именно:

- модели исследуемых каналов и теплообменных поверхностей строятся с помощью CAD\CAM систем - SOLID WORKS, INVENTOR, и др.;
- готовые 3-D модели импортируются в среду Flow Vision благодаря использованию файлов форматов «\*.wrl» или «\*.stl».
- CFD пакет обеспечивает автоматическое построение расчетной сетки и ее последующую автоматическую адаптацию как у поверхности тел, так и в расчетном объеме;
- удобные и мощные функции для последующего анализа полученной расчетной информации.

Такие свойства пакета Flow Vision позволяют создавать эффективные и производительные вычислительные модели для научных исследований и инженерной работы.

В ходе пробных расчетов были уточнены параметры расчетной модели, которые позволили оптимизировать расчет (временной шаг, условия адаптации расчетной сетки по параметрам) [1].

При моделировании гидродинамических процессов принимались следующие допущения и граничные условия:

- решалась 3-D модель нестационарного турбулентного потока полностью сжимаемой жидкости, использована k-ε модель турбулентности;

- рабочая среда - продукты сгорания;
- на входе задавалась массовая скорость газов.

Температурные условия для данной задачи являются определяющими. В первом приближении были заданы следующие параметры:

- температура газов на входе 1073 °К;
- температура стенок коллектора задавалась 873 °К, температура тела переходника 673 °К (приняты на основании экспериментов);
- материал коллектора - чугун, материал переходника - жаропрочная сталь;
- на поверхности зонда задан нулевой тепловой поток.

Иными словами, принимаем допущения, что температура датчика равна температуре газового потока, датчик и его элементы не оказывают влияние на температуру потока.

Температуру газа формируют входные условия, граничные условия на поверхности коллектора и переходника. Данное допущение представляется

достаточно физичным, если принять во внимание малую толщину защитного кожуха зонда, его массу и теплоемкость.

Так на первом этапе исследований изучалась ситуация в оригинальном коллекторе с зондами типа LSU4.2, разных модификаций, которые оснащаются двумя защитными колпачками, а также с зондом OZAS-S2, который имеет один защитный колпачок.

Второй этап посвящен детальному рассмотрению гидродинамических и тепловых процессов в газовыпускном коллекторе и внутренней полости переходников, в зоне непосредственного контакта газов с чувствительным элементом датчика.

#### Анализ полученных результатов

На рис. 4а и рис. 4б показаны результаты моделирования течений в коллекторе и полости датчиков кислорода различной конструкции.

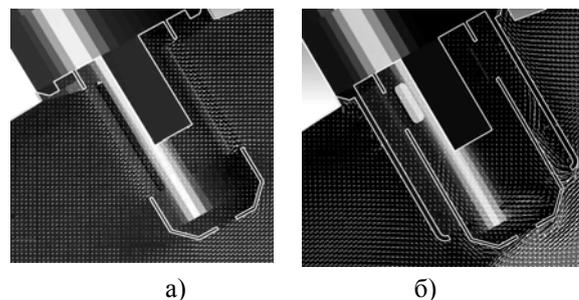


Рис. 4. Поля скорости в коллекторе и полости зонда типа OZAS-S2 (а) и зонда типа LSU4.2 (б)

Расчеты проводились для разных расходов газов (оборотов двигателя), при этом во всех случаях картина процессов была подобной приведенной на рис 4, а именно:

1. Зона повышенного давления располагается непосредственно перед датчиком. Область максимальной скорости потока смещена к внутренней части канала.
2. Поток с максимальной температурой омывает рабочую зону датчика.
3. Максимальная скорость газа во внутренней полости зонда LSU4 d2 не превышает 10 – 20 % от средней скорости потока в коллекторе. Меньшие значения наблюдаются в модификациях зондов с малыми размерами отверстий для прохода газов.
4. В полости зонда OZAS®-S2, с одним защитным колпачком, скорости потока достигают 20-25 % от средней скорости потока в коллекторе.

Следствием такой ситуации может быть быстрый перегрев чувствительного элемента датчика при

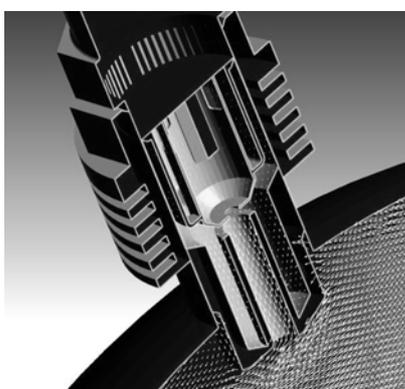
высоких нагрузках двигателя. Кроме этого зонды расположены в зоне максимально вероятной для попадания загрязняющих частиц (масло из турбонагнетателя, несгоревшее топливо, влага), которые будут отбрасываться туда под действием массовых сил.

Использование переходников должно существенно изменить условия для работы датчиков. В ходе исследований были просчитаны варианты различных конструкций переходников, что позволило лучше понять пути для создания оптимальных конструкторских решений.

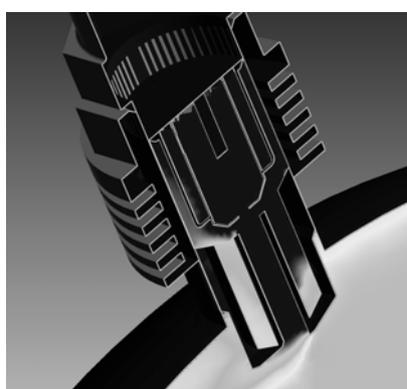
Так на рис. 5 и рис. 6 показаны результаты численного моделирования процессов в коллекторе и

объеме переходников для двух конструкций, которые можно считать показательными.

Эти переходники оказали меньшее сопротивление потоку в коллекторе по сравнению с другими вариантами. При этом в переходнике 2 скорости газа в его внутренних полостях, в зоне чувствительного элемента зонда были сопоставимы по величине с скоростями при штатной установке датчика кислорода. При этом температуры потока, омывающего зонд, уменьшились на 150 – 200 градусов. Уровень снижения температур газа у поверхности зонда может быть оптимизирован путем изменения геометрии обрешеченной части переходника.

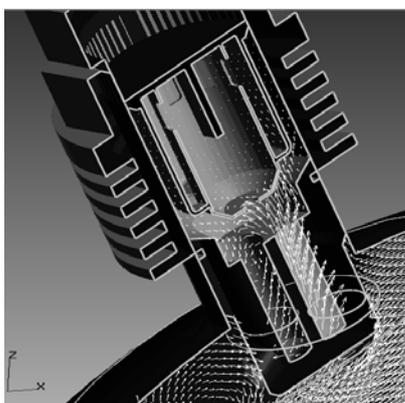


а)

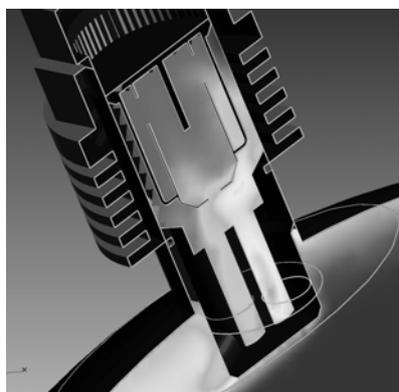


б)

Рис 5. Поле скоростей - а, и поле температуры – б, в полости переходника 1



а)



б)

Рис 6. Поле скоростей – а, и поле температуры – б, в полости переходника

Использование численной модели позволяет глубже изучить физику процессов в газовыпускном коллекторе и переходниках и учесть особенности гидродинамики потока при их проектировании.

Так входные отверстия переходника 2 расположены в зоне с максимальным давлением потока, а выходные в зоне пониженного давления. Это позволяет существенно улучшить газообмен во внутренних полостях переходников и датчиков. Внутренние

каналы оптимизированных переходников обеспечивают скорости газов в зоне чувствительного элемента зонда на уровне не ниже 15% – 20% от величины средней скорости газов в выпускном коллекторе ДВС.

Такие скорости потока достаточны для сохранения достигнутого сейчас времени реагирования зонда на изменение состава газовой смеси, так как близки к скоростям потока во внутренних полостях

серийных зондов при их штатном расположении в коллекторе. В качестве примера можно привести зонды типа LSU4 d3, которые оснащены двойными защитными колпачками и имеют малые размеры отверстий для прохода газов.

#### Заключение

1. Использование переходников для установки лямбда-зондов в коллекторах высокофорсированных ДВС позволит избежать их перегрева при максимальных нагрузках двигателя. Температуры газов у чувствительного элемента зонда могут быть снижены на 150 – 250 градусов благодаря теплоотводу через тело переходника.

2. Переходники обеспечивают защиту поверхности зонда от загрязнений, поэтому их рационально использовать с относительно недорогими зондами, не имеющих двойных защитных колпачков.

3. Расчеты показали, что скорость газов во внутренней полости зонда, при его установке в переходнике, может составлять 15% – 20% от средней скорости потока в канале. Такие же скорости газов

имеют место в полостях некоторых датчиков, при штатном размещении в коллекторе.

4. Численная модель, реализованная с помощью CFD пакета Flow Vision, дала возможность оптимизировать конструкции переходников и определить направления для дальнейших экспериментальных исследований и инженерных разработок.

5. Эффективность предлагаемого конструктивного решения и результаты численного моделирования подлежат экспериментальной проверке.

#### Список литературы:

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. – М.: Мир, 1990. – 384 с.
2. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. Версия 2.3 Руководство пользователя. – М.: ООО «Tecus», 2006. – 311 с.
3. Installation Instructions for 30-2301 Single O2 Sensor Controller. 2006. - ADVANCED ENGINE MANAGEMENT. INC. [WWW.URL](http://www.aempower.com). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aempower.com>.
4. Fast response air-to-fuel ratio measurements using a novel device based on a wide band lambda sensor. S Regitz et al 2008. Meas. Sci. Technol. 19 075201 (10pp) doi: [10.1088/0957-0233/19/7/075201](https://doi.org/10.1088/0957-0233/19/7/075201).

УДК 621.43.056

*М.І. Міщенко, д-р техн. наук, В.Г. Заренбин, д-р техн. наук, Т.М. Колеснікова, інж., Ю.В. Юрченко, асп., В.А. Курмаз, студ.*

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВПУСКУ В БЕНЗИНОВОМУ ДВИГУНІ З РІЗНИМИ СПОСОБАМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ТА СТУПЕНЯ СТИСКУ

#### Вступ

Для рішення проблеми зниження витрати палива й викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) багато закордонних двигунобудівних фірм й організацій ведуть теоретичні й дослідно-конструкторські роботи зі створення двигунів з різними способами регулювання ступеня стиску й навантаження двигуна. Більшість із відомих на сьогодні технічних рішень у цьому напрямку торкають базовий силовий механізм двигуна - кривошипно-шатунний механізм (КШМ). Однак традиційний КШМ не може кардинально вирішити задачу регулювання ступеня стиску й навантаження двигуна, не порушуючи балансу між паливною економічністю з одного боку, і з іншого боку - вартістю й масогабаритними показниками двигуна.

У результаті багаторічних науково-дослідних робіт, проведених в АДІ ДонНТУ, створений безша-

тунний бензиновий двигун із кривошипно-кулісним механізмом (ККМ) [1], у якому реалізований змінний ступінь стиску.

Автори даної статті представили спільне дослідження з виконання теоретичних розрахунків процесу впуску чотиритактного бензинового двигуна з різними способами регулювання ступеня стиску й навантаження.

#### Постановка задачі

Вивченню процесів газообміну ДВЗ присвячена велика кількість робіт відомих авторів: А.С. Орліна, М.Г. Круглова, М.С. Ховаха, Н.М. Глаголева, І.М. Леніна, Р. Бенсона, Г. Ліста, О. Лутца й інших. В останні роки роботи з вивчення процесів у впускних системах одержали подальший розвиток у зв'язку із широким використанням у практиці дослідницьких робіт ЕОМ. До таких досліджень можна віднести роботи В.Г. Дяченко [2], С.А. Глаговського [3], Т.М. Колеснікової [4] й інших.