

этих графиков явно видны преимущества перехода на двухступенчатое ОНВ.

### Выводы

Представленные результаты сравнительного расчетного исследования двух систем охлаждения наддувочного воздуха, имеющих охладители с одинаковыми высококомпактными трубчатоленточными поверхностями ( $1460 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ) позволяют сделать следующие выводы.

1. При высоких давлениях наддува (выше  $0,23 \div 0,25$  МПа) в автомобильном дизеле практически невозможно достичь достаточно низкого, экономически целесообразного уровня температуры воздуха во впускном коллекторе (с превышением температуры окружающей среды не более чем на  $20 \div 25$  градусов) с помощью воздушного радиатора даже применением высокоэффективных теплообменных поверхностей (например, тонкостенной медной трубчатоленточной поверхности с коэффициентом компактности  $1460 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ).

2. Для дизеля 6 ЧН 13/12 при давлении наддува  $0,25$  МПа в целях достижения температуры во впускном коллекторе не превышающей уровень температуры окружающей среды более чем на  $20$  К целесообразно применить двухступенчатое охлаждение наддувочного воздуха установкой в дополнение к воздушному радиатору компактного водовоздушного охладителя с объемом сердцевины  $3,0 \div 3,6 \text{ дм}^3$ .

### Список литературы:

1. Автомобильные двигатели с турбонаддувом / Н.С. Ханин, Э.В. Аболтин, Б.Ф. Лямцев и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с. 2. Харченко А.И., Шокотов Н.К., Строков А.П., Сергиенко Н.А. Особенности внешней характеристики автомобильного дизеля с двухступенчатой системой охлаждения наддувочного воздуха. Вестник Харьк. гос. автомоб.-

дорожн. техн. ун-та: №5, 1997. С. 27 – 29. 3. Иванченко Н.Н., Красовский О.Г., Соколов С.С. Высокий наддув дизелей. – Л.: Машиностроение, 1983. – 198 с. 4. Гольтраф И.С. Охлаждение воздуха в судовых дизелях. – М.: Машиностроение, 1965. – 199 с. 5. Двигатели внутреннего сгорания / А.Э. Симсон, А.З. Хомич, А.А. Куриц и др. – М.: Транспорт, 1980. – 384 с. 6. Портнов Д.А. Быстроходные турбопоршневые двигатели с воспламенением от сжатия. – М.: Машигиз, 1963. – 640 с. 7. Тракторные дизели: Справочник / Б.А. Взоров, А.В. Адамович, А.Г. Арабян. – М.: Машиностроение, 1981. – 535 с. 8. Харченко А.И., Строков А.П., Сергиенко Н.А. Улучшение экономических и экологических показателей дизеля 6 ЧН 13/12 применением системы автоматического регулирования температуры наддувочного воздуха // Тез. докл. международной н.-т. конф. "Компьютер: наука, техника, технология, здоровье". – Харьков – Миш-колыч, 1993. – С. 182 – 184. 9. О результатах сравнительных испытаний дизеля Д6112 с серийной одноступенчатой и новой двухступенчатой системами охлаждения наддувочного воздуха: Техн. отчет о НИР №5126–95 / Головное специализированное конструкторское бюро по двигателям средней мощности (ГСКБД). – Харьков, 1995. – 52 с. 10. Сергиенко Н.А. Выбор пути модернизации системы охлаждения наддувочного воздуха автобусного дизеля Д6112 // Вестник ХГПУ. Сб. науч. тр., вып. 101. – Харьков: ХГПУ, 2000. – С. 242 – 245. 11. Патент США №5036668, МКИ 02 В 29/00, 03.07.1990 г. Оптимизация температуры воздуха на впуске в двигателе с турбонаддувом. – РЖ 39 ДВС, №11 1992, реферат 298 П. 12. Бурков В.В., Индейкин А.И. Авто-тракторные радиаторы: Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1978. – 216 с. 13. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с. 14. Кейс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники. – М.: Энергия, 1967, – 352 с.

УДК 621.43

**М.В. Маливанов, д-р техн. наук; Р.Н. Хмельов, канд. техн. наук**

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДВС

Эффективность работы ДВС в значительной степени определяется совершенством газодинамических процессов, протекающих в их проточных частях. В настоящее время среди методов исследования газодинамических явлений в ДВС преобладают экспериментальные методы, требующие существенных временных и материальных затрат. Наиболее перспективным путем сокращения этих затрат является

численное моделирование процессов течения газа, применяемое при проектировании и доводке двигателя.

Математические модели, используемые при проведении численных экспериментов, как правило, на достаточно высоком уровне описывают течение газа в отдельных элементах системы газообмена, не учитывая в достаточной степени процесс функцио-

нирования двигателя в целом, что требует в дальнейшем значительных по объему доводочных работ. Кроме того, широкое применение коммерческих пакетов прикладных программ ограничивается целым рядом трудностей финансового, вычислительного и эксплуатационного характера.

В связи с вышеизложенным, актуальным является совершенствование методов теоретического исследования газодинамических явлений в двигателе за счет разработки ориентированного на включение в модель ДВС математического описания процессов течения газа.

В основу предложенного математического описания газодинамических процессов положены модели одно-, двух- и трехмерного нестационарного течения сжимаемого невязкого газа, для решения которых использовался метод Годунова [1]. При разработке математических моделей были реализованы:

- учет в одномерной постановке трения и теплообмена со стенками каналов [2], а также течения газа через местные сопротивления (типа внезапного сужения и расширения) [3];
- учет взаимодействия потока с движущейся контактной границей;
- объединение математических моделей с различным числом пространственных координат (процедура осреднения);
- возможность задания основных типов граничных условий на непроницаемых и открытых границах [4].

При учете взаимодействия потока с движущейся контактной границей (поршнем, клапаном) сохранялся постоянный закон расстановки узлов сетки, в каждый момент времени определялось текущее местонахождение движущейся границы, и в соответствии с методом Годунова вычислялись параметры потока в ячейке на ее поверхности.

При построении математических моделей для сокращения временных затрат, связанных с расчетом пространственного течения, необходимо обеспечить переход от одного типа течения к другому, например, от трехмерного (цилиндр, органы газораспределения) к одномерному (впускной, выпускной трубопроводы) за счет процедуры осреднения потока. В данной работе для объединения математических моделей с различным числом пространственных координат использовался наиболее распространенный метод, состоящий в сохранении в исходном и осредненном потоках одинаковыми величин расхода газа, импульса и полной энергии.

В численной схеме предусмотрена возможность задания основных типов граничных условий. Для задания условий на границах неподвижных и движущихся твердых тел, а также на свободной границе использовалась модификация задачи о распаде раз-

рыва. Постановка условий на открытой границе, представляющей собой окружающую среду (полость с постоянными значениями газодинамических параметров  $p=const$ ,  $\rho=const$ ,  $u=0$ ), осуществлялась путем представления ее в виде фиктивного местного сопротивления с отношением диаметров  $d_{o.c.}/d > 50$ .

На основе рассмотренного комплекса математических моделей разработано программное обеспечение, адекватность которого подтверждена результатами тестовых расчетов газодинамических течений. В качестве примера на рис.1 приведены результаты одно-, двух- и трехмерного расчетов опорожнения полости постоянного объема через канал.

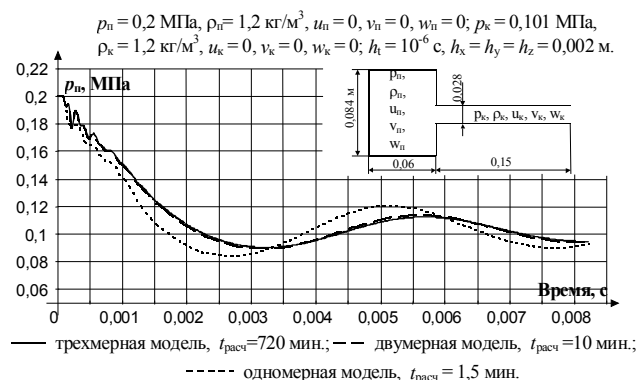


Рис.1. Зависимость давления в полости от времени

Таким образом, в зависимости от сложности пространственной конфигурации элементов газодинамической подсистемы и поставленных задач исследований, возможно применение одно-, двух-, трехмерной модели или их комбинации.

Разработанное программное обеспечение может быть включено в модель ДВС в виде дополнительных модулей. В этом случае граничные условия для математических моделей течения газа вычисляются непосредственно в ходе расчетов, а процессы функционирования ДВС и газодинамические явления в проточных частях рассматриваются совместно с учетом их взаимного влияния. Такой подход реализован за счет использования динамической модели ДВС [5]. Динамическая модель рассматривает двигатель как систему, включающую механическую и термодинамическую подсистемы, и описывает функционирование двигателя "в целом" в переходных и установившихся режимах. При этом разработанный комплекс математических моделей в совокупности с динамической моделью ДВС позволяет исследовать как особенности течения газа в отдельных элементах системы газообмена, так и влияние газодинамических процессов на показатели двигателя при различных условиях его функционирования.

На рис.2 – 4 приведена аппроксимация проточной части и некоторые результаты расчета течения газа в системе газообмена малоразмерного одноцилиндрового дизеля ТМЗ-450Д.

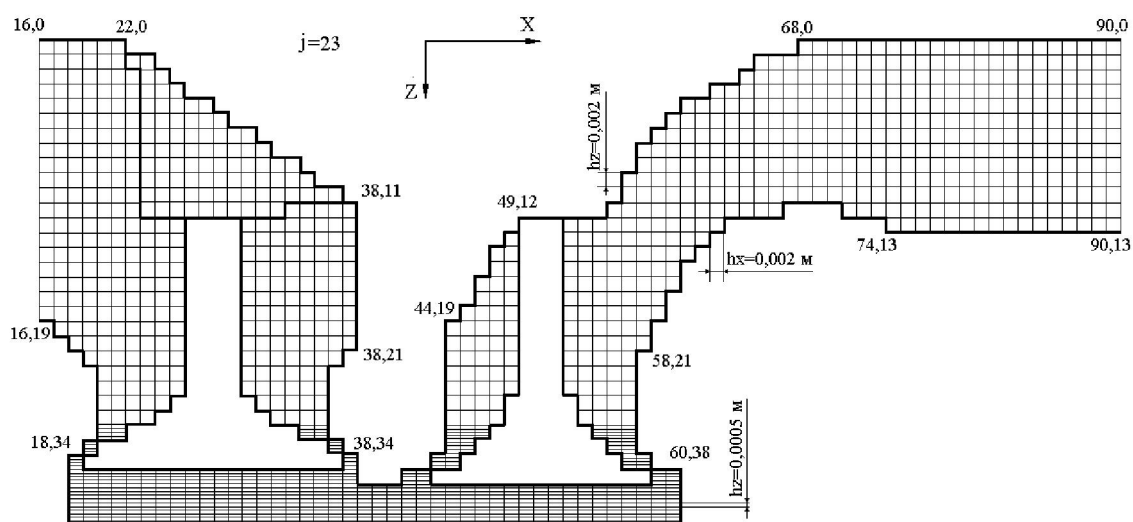


Рис. 2. Аппроксимация геометрии впускного, выпускного канала и цилиндра в плоскости XZ

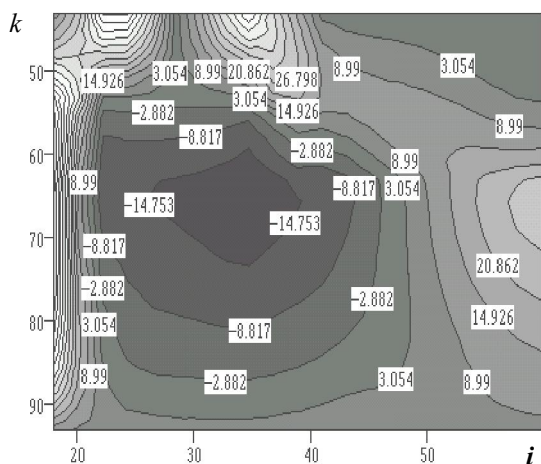


Рис. 3. Изменение осевой составляющей скорости в цилиндре двигателя в процессе впуска (плоскость XZ,  $h_{вп.кл} = 7$  мм,  $i, k$  – номера ячеек)

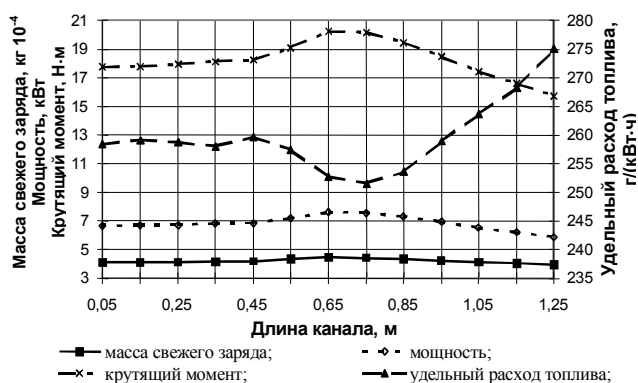


Рис. 4. Влияние протяженности впускного канала на массовое наполнение цилиндра и эффективные показатели работы двигателя

### Выводы

Как показали проведенные расчеты, разработанный комплекс математических моделей течения газа совместно с динамической моделью ДВС позволяет на стадии проектирования осуществить выбор основных параметров системы газообмена, обеспечивающих наилучшие характеристики двигателя, и обоснованно сформулировать требования к системе газообмена двигателя по требованиям, предъявляемым к двигателю в целом.

### Список литературы:

1. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др. – М.: Наука, 1976. – 400 с.
2. Круглов М.Г., Меднов А.А. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.
3. Гогричиани Г.В., Шипилин А.В. Переходные процессы в пневматических системах. – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.
4. Гришин Ю.А., Хмельев Р.Н. Способы постановки граничных условий при численном моделировании газодинамических процессов в ДВС // Изв. ТулГУ. Сер. "Автомобильный транспорт". Вып. 7. – Тула: ТулГУ, 2003. – С. 161-167.
5. Маливанов М.В. Динамическая теория ДВС (целесообразность создания и этапы разработки) // Изв. ТулГУ. Сер. "Автомобильный транспорт". Вып. 2. – Тула: ТулГУ, 1998. – С. 189-196.