

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ГАЗООБМЕНА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ 12ЧН26/26

NUMERICAL SIMULATION OF GAS EXCHANGE SYSTEMS OF MARINE ENGINE 12CH26/26

В статье приводится пример численного моделирования систем газообмена судового дизеля 12 ЧН26/26. В ходе исследования был выявлен механизм вихреобразования на такте впуска и выпуска. Показано влияние ориентации выпускных патрубков на работу выталкивания и вихреобразования. Наибольшая плотность линии тока воздуха на впуске наблюдается на стенках цилиндра, а не в центре цилиндра. Установка направляющего козырька устраняет разделение газового потока и снижает процесс вихреобразования в выпускном трубопроводе.

In the article the example of numerical modeling of systems of gas exchange of the ship diesel 12ChN26/26 is given. During the research the vortex formation mechanism during intake stroke and outstroke was revealed. Influence of orientation of exhaust pipes on pushing out and vortex formation work is shown. The greatest density of the line of the line of air flow during intake is observed on cylinder walls, instead of the cylinder center. Installation of a directing peak eliminates division of a gas stream and reduces vortex formation process in the final pipeline.

Ключевые слова: газообмен, численное моделирование, скорость воздуха, выпускной патрубок, впускной патрубок, клапаны, выхлопные газы, вихреобразование, гидравлическое сопротивление.

Key words: Gas exchange, numerical modeling, air speed, final branch pipe, inlet branch pipe valves, exhaust gases, vortex formation, hydraulic resistance.



ЭФФЕКТИВНОСТЬ работы ДВС существенно зависит от совершенства внутренних точных поверхностей, главным образом от конструкции впускных и выпускных каналов и патрубков. Совершенствование геометрии проточных поверхностей впускных и выпускных систем ДВС позволяет добиться снижения гидравлических сопротивлений и тем самым снизить работу выталкивания поршня, а также увеличить располагаемую работу отработанных газов перед турбиной. В совокупности это даст прирост увеличения мощности, что является актуальной задачей.

Численное моделирование течений газа в проточных частях ДВС позволит в трехмерном виде исследовать характеристики потока в любой его точке, а также определять величины гидродинамических потерь, связанных с образованием вихрей и отрывных зон. Место образования вихря, его интенсивность и продолжительность влияют на работу выталкивания поршня. Последовательным изменением формы канала в процессе численного эксперимента можно найти такую его конфигурацию, которая будет иметь минимально возможное гидравлическое сопротивление. С помощью численного моделирования можно найти решение задачи за сравнительно короткое время при невысокой и постоянно уменьшающейся стоимости машинных расчетов. Профилирование каналов и патрубков требует создания дорогостоящих физических моделей и существенных затрат времени на натурные эксперименты. Стремительное развитие вычислительной техники сделало возможным выполнение профилирования проточных поверхностей каналов и патрубков с помощью численного решения дифференциального уравнения движения вязкой жидкости (На-

вье–Стокса) в трехмерных координатах методом контрольных объемов. Для численного моделирования уравнения Навье–Стокса была использована программа Flow Simulation в среде SolidWorks-2010.

Численное моделирование газообмена в двигатели типа ЧН26/26 на номинальном режиме разделено на два этапа: процесс впуска и процесс выпуска. Для выполнения расчета были приняты следующие граничные условия:

- давление воздуха на входе в головку цилиндра $p_k = 0,255$ МПа;
- давление выпускных газов на входе в турбину $p_t = 0,232$ МПа;
- давление в конце процесса расширения $p_b = 0,795$ МПа;
- температура свежего заряда воздуха 330 К;
- температура выпускных газов на выходе из выпускного клапана 1090 К.

В качестве циркулируемой среды выбран воздух.

Процедура численного моделирования проходила в три этапа. На первом этапе строились 3D модели, входящие в систему газообмена: впускной и выпускной трубопроводы, головка цилиндра, клапаны, рабочий цилиндр, поршень и впускной и выпускной патрубков. На втором этапе создавалась сборочная модель системы газообмена из построенных ранее 3D моделей. На заключительном этапе созданная трехмерная модель сборки транслировалась в программу Flow Simulation, где и проходил процесс численного моделирования. В свою очередь процесс численного моделирования газообмена был разбит на две части:

- 1) моделирование процесса впуска при открытых впускных клапанах и закрытых выпускных;
- 2) моделирование процесса выпуска при закрытых впускных клапанах и открытых выпускных.

В первой части процесс численного моделирования проводился для каждого из 12 положений поршня (от верхней мертвой точки до нижней) с промежутком 15° поворота коленчатого вала.

На рис. 1 показан результат численного моделирования на такте впуска при положении поршня в середине хода.

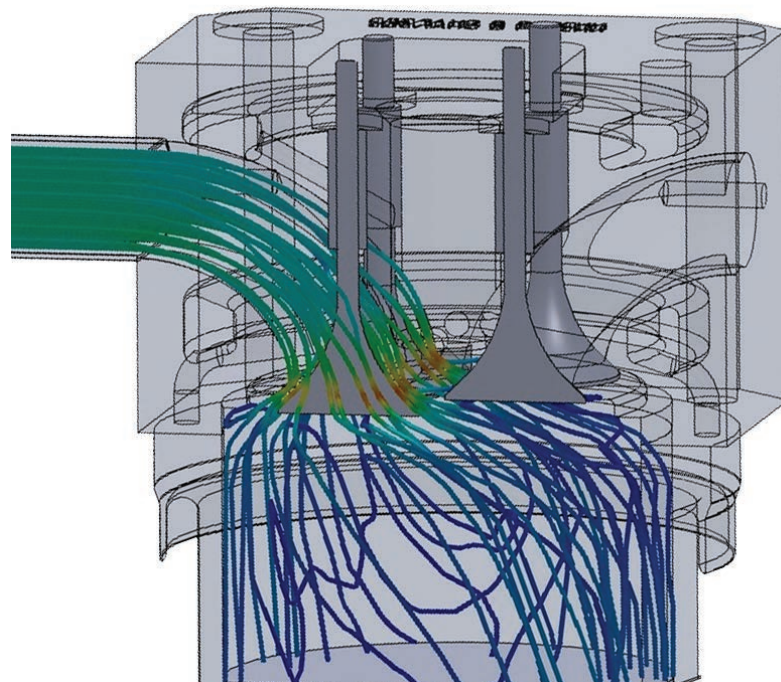


Рис. 1. Результат численного моделирования на такте впуска при положении поршня в середине хода

На рисунке линии тока воздуха отображены «трубами», цвет данных труб варьируется в зависимости от скорости движения среды. Наибольшая скорость, как и ожидалось, возникает в щели впускного клапана. В процессе численного моделирования такта впуска удалось обнаружить следующие устойчивые закономерности:

1) при движении поршня на такте впуска от ВМТ к НМТ движение воздуха во впускном патрубке до щели клапана близко к идеальному. Заметного отрыва потока и момент образования вихревого течения обнаружить не удалось;

2) при начале движения и до середины хода поршня обнаружена зона разрежения, находящаяся за тарелкой впускного клапана. Эта зона увеличивает долю насосных потерь;

3) начиная с середины хода поршня (90° поворота коленчатого вала после ВМТ), обнаружено начало формирования поперечного вихря, который снижает образовавшееся разрежение за тарелкой впускного клапана и выравнивает давление по всему объему рабочего цилиндра при движении поршня к НМТ;

4) наибольшая плотность линии тока воздуха наблюдается на стенках цилиндра, а не в центре цилиндра, причем на противоположной стенке цилиндра, прилегающей к стороне выпускных клапанов, плотность линий больше;

5) по мере движения поршня к НМТ плотность линии тока выравнивается по всему объему цилиндра.

Анализ выявленных закономерностей позволил предположить, что интенсивность подогрева свежего заряда от нагретых стенок цилиндра в начале впуска достаточно высока у стенок цилиндра в начале движения и выравнивается в конце хода поршня. Очевидно, можно утверждать наличие переменного коэффициента теплоотдачи от стенок цилиндра к воздушному заряду.

Во второй части численного моделирования газообмена на такте выпуска проводилось исследование влияния положения выпускного патрубка при входе в общий трубопровод для двухтрубной выпускной системы. На рис. 2 показаны конструкции выпускных патрубков, установленных вверх и вниз.

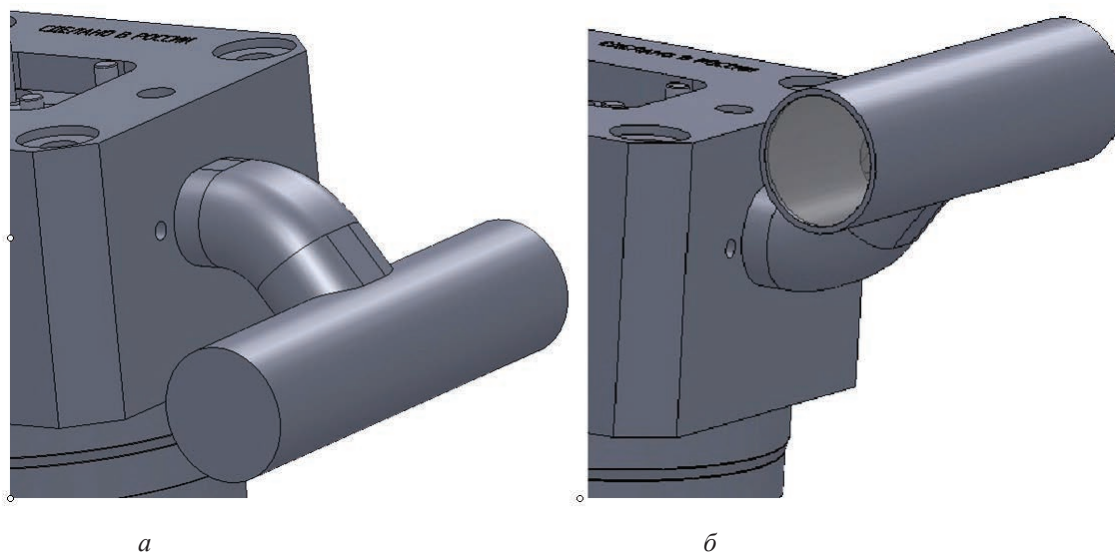


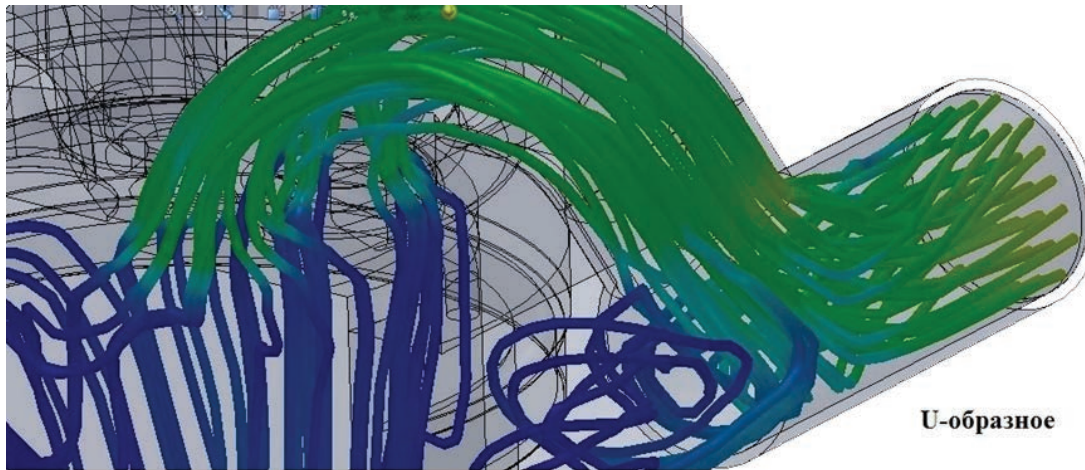
Рис. 2. Конструкции выпускных патрубков:
патрубок, установленный вниз,

образует вместе с выпускным каналом в крышке цилиндров U-образный вид (а);

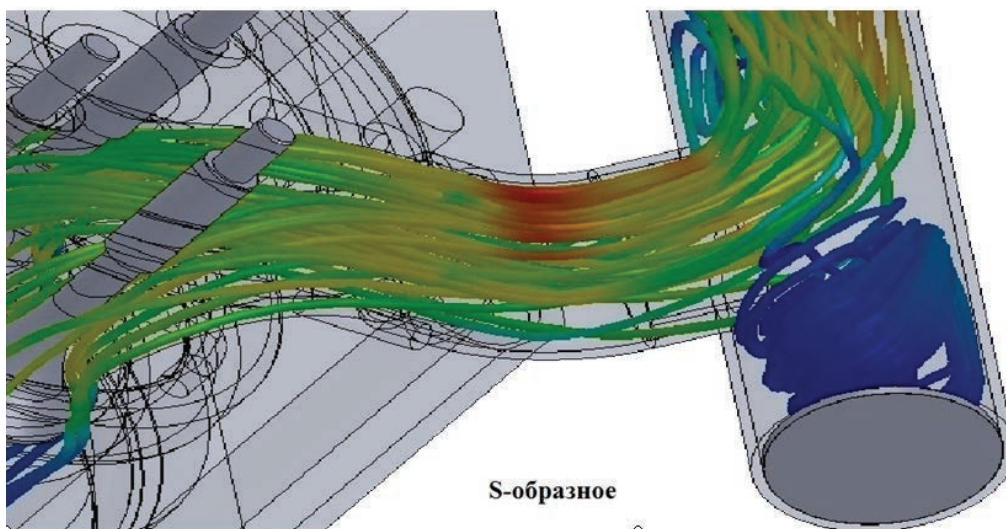
патрубок, установленный вверх, — соответственно S-образный вид (б)

Процесс численного моделирования на выпуске проводился для каждого из 14 положений поршня (от открытия выпускного клапана до ВМТ) с промежутком 15° поворота коленчатого вала.

Результаты численного моделирования такта выпуска представлены на рис. 3. Патрубок с U-образным расположением (а) в месте входа в общую трубу вызывает незначительное завихрение позади основного потока. Скорость течения среды в нем ниже, чем в патрубке с S-образным (б) расположением. Различие в скорости потока изменяет работу выталкивания поршня, которая увеличивается пропорционально средней скорости потока в канале. Таким образом, ориентация выпускного патрубка влияет на величину работы выталкивания поршня.



а



б

Рис. 3. Результаты численного моделирования течения газа через выпускные патрубки

Как видно из рис. 3, развитие вихря в патрубке с S-образным (б) расположением позади основного потока происходит более интенсивно и имеет устойчивый характер. Вихрь продолжает свое существование по инерции и после закрытия выпускного клапана, тем самым создает сопротивление выхлопу из цилиндров, расположенных позади моделируемого. «Долгоживущий» вихрь может быть причиной аэродинамических потерь выпускного коллектора. В месте входа выпускного патрубка в общую трубу отработанные газы разделяются. Одна (большая) часть потока движется в сторону турбины, а вторая (меньшая) часть начинает завихряться позади потока и

образовывать так называемую вихревую пробку, препятствующую проходу выпускных газов из соседнего цилиндра.

Для устранения причин, вызывающих образование вихревой пробки, в месте входа патрубка в общую трубу установлен направляющий козырек. Процедура численного моделирования на выпуске с установленным козырьком была аналогична вышеописанной. На рис. 4 продемонстрированы результаты численного моделирования.

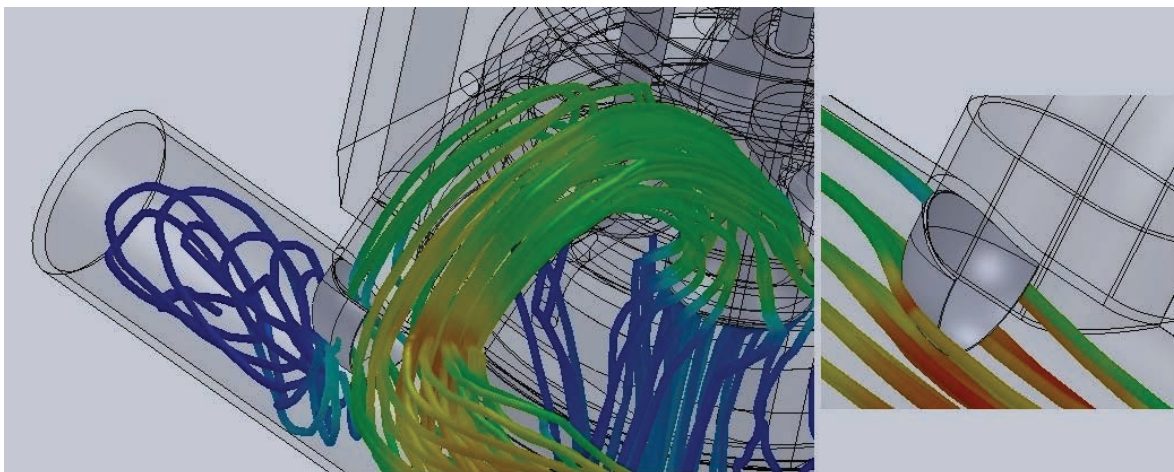


Рис. 4. Результаты численного моделирования обтекания газа направляющего козырька

Как видно из рис. 4, разделения потока в направляющем козырьке не происходит. Поток приобретает четко выраженное направление в сторону турбины при слабовыраженном завихрении позади козырька. Численное моделирование процесса продувки самого козырька горячими газами задних цилиндров (рис. 4 справа) не выявило образования заметных аэродинамических вихрей в месте его установки.

Выводы

Численное трехмерное моделирование газодинамики системы газообмена на такте впуска и выпуска судового дизеля 12ЧН26/26 позволило установить следующее:

- 1) при начале движения и до середины хода поршня обнаружена зона разрежения, находящаяся за тарелкой впускного клапана. Эта зона увеличивает долю насосных потерь;
- 2) начиная с середины хода поршня (90° поворота коленчатого вала после ВМТ), обнаружено начало формирования поперечного вихря, который снижает образовавшееся разрежение за тарелкой впускного клапана и выравнивает давление по всему объему рабочего цилиндра при движении поршня к НМТ;
- 3) наибольшая плотность линии тока воздуха на впуске наблюдается на стенках цилиндра, а не в центре цилиндра, причем на противоположной стенке цилиндра, прилегающей к стороне выпускных клапанов, плотность линий больше;
- 4) по мере движения поршня к НМТ плотность линий тока выравнивается по всему объему цилиндра;
- 5) обнаружено влияние ориентации расположения выпускного патрубка на такте выталкивания на процесс вихреобразования в месте входа в общую выхлопную трубу и работу выталкивания поршня;
- 6) установка направляющего козырька устраняет разделение газового потока и снижает процесс вихреобразования в выпускном трубопроводе.

Список литературы

1. Тюнин А. В. Разработка методики численного моделирования течения газа в полости впускного канала двигателя внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Тюнин. — Барнаул, 2010.
2. Ганин Н. Б. Поэлементное совершенствование выпускных систем дизелей с наддувом: дис. ... канд. техн. наук / Н. Б. Ганин; ЦНИДИ. — Л., 1985.

УДК 621.313.12

А. П. Баранов,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Л. Е. Егоров,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО БЕСЩЕТОЧНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

MATHEMATICAL MODEL OF HIGH-VOLTAGE BRUSHLESS SYNCHRONOUS GENERATOR

Предложены математические модели явнополюсного высоковольтного синхронного генератора и его бесщеточной системы возбуждения во вращающихся координатах.

The mathematical models of salient-pole high-voltage synchronous generator with brushless excitation system in d , q axis are presented.

Ключевые слова: математическая модель, бесщеточный синхронный генератор, бесщеточная система возбуждения.

Key words: mathematical model, brushless synchronous generator, brushless excitation system.

В СОВРЕМЕННЫХ единых высоковольтных судовых автоматизированных электроэнергетических системах (ЕВСАЭЭС) с комплексами Azipod, например на танкерах ледового класса типа «Михаил Ульянов» с системой динамического позиционирования судна, используются бесщеточные синхронные генераторы высокого напряжения (6.6 кВ) с дизельным приводом. В этом синхронном генераторе (СГ) в качестве возбудителя используется обращенная синхронная машина с трехфазной обмоткой на роторе и обмоткой возбуждения на статоре. Напряжение трехфазной обмотки выпрямляется вращающимся диодным выпрямителем и подается к обмотке возбуждения СГ.

Для регулирования напряжения возбуждения используется электронный импульсный регулятор постоянного напряжения, который преобразует постоянное напряжение источника питания в регулируемое напряжение обмотки возбуждения синхронного возбудителя. В таких преобразователях используются силовые полупроводниковые управляемые ключи IGBT-транзисторы, а регулирование напряжения в них происходит за счет широтно-импульсной модуляции напряжения источника питания.

Математическая модель СГ в осях d и q в относительных единицах может быть описана системой уравнений [1, с. 29]: