



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ _____ Энергомашиностроение _____

КАФЕДРА _____ Э-2 – Поршневые двигатели _____

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕОРИЯ ПОРШНЕВЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ»

НА ТЕМУ:
Оптимизация рабочего процесса дизельного двигателя
4ЧН9,11/9,9

Студент _____ группы Э2-71Б
(Группа)

(Подпись, дата)

Т. Рахимгалиев
(И.О.Фамилия)

Руководитель курсовой работы

(Подпись, дата)

В.А. Зенкин
(И.О.Фамилия)

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1 Описание двигателя | 4 |
| 2 Исходные параметры двигателя | 5 |
| 3 Идентификация математической модели | 6 |
| 4 Основные направления модернизации двигателя..... | 9 |
| 5 Изменение фаз ГРМ при переходе на четырехклапанную ГБЦ..... | 12 |
| 5.1 Выбор фаз ГРМ для частоты вращения 2000 об/мин..... | 13 |
| 5.2 Анализ характеристик двигателя в зависимости от фаз ГРМ | 14 |
| 6 Оптимизация степени сжатия, степени повышения давления в компрессоре и УОВТ | 17 |
| 7 Результаты модернизации двигателя | 23 |
| Заключение. | 26 |
| Список использованной литературы..... | 27 |
| Приложения | 28 |

Введение

Моделирование и оптимизация рабочего процесса проводились в программном комплексе Diesel-RK.

1 Описание двигателя

Исходя из темы курсового проекта, объектом исследования является двигатель автомобиля Mitsubishi L200 – 4D56.

Данный силовой агрегат – четырехцилиндровый, четырехтактный двигатель с наддувом. Цилиндры имеют рядную схему расположения. Головка цилиндра имеет двухклапанную конструкцию.

Двигатель выпускался крупной серией с 1986 по настоящее время на заводах Mitsubishi (Япония), Hyundai (Корея). Назначения – исключительно гражданское.

2 Исходные параметры двигателя

Таблица 1 - Исходные параметры двигателя, исходя паспортных данных

| Параметр | Значение |
|--|----------|
| Максимальная мощность N_e , л/с | 99 |
| Максимальная мощность N_e , кВт | 72,8 |
| Степень сжатия ε | 21 |
| Диаметр цилиндра D , мм | 91,1 |
| Ход поршня S , мм | 99 |
| Максимальный крутящий момент M_e , Н*м | 237 |
| Атмосферное давление, бар | 1 |
| Температура окружающей среды, К | 288 |

3 Идентификация математической модели двигателя

В первую очередь необходимо получить адекватную модель двигателя, соответствующую техническому заданию, а также параметрам двигателя автомобиля 4D56. Ниже представлен BCX двигателя 4D56

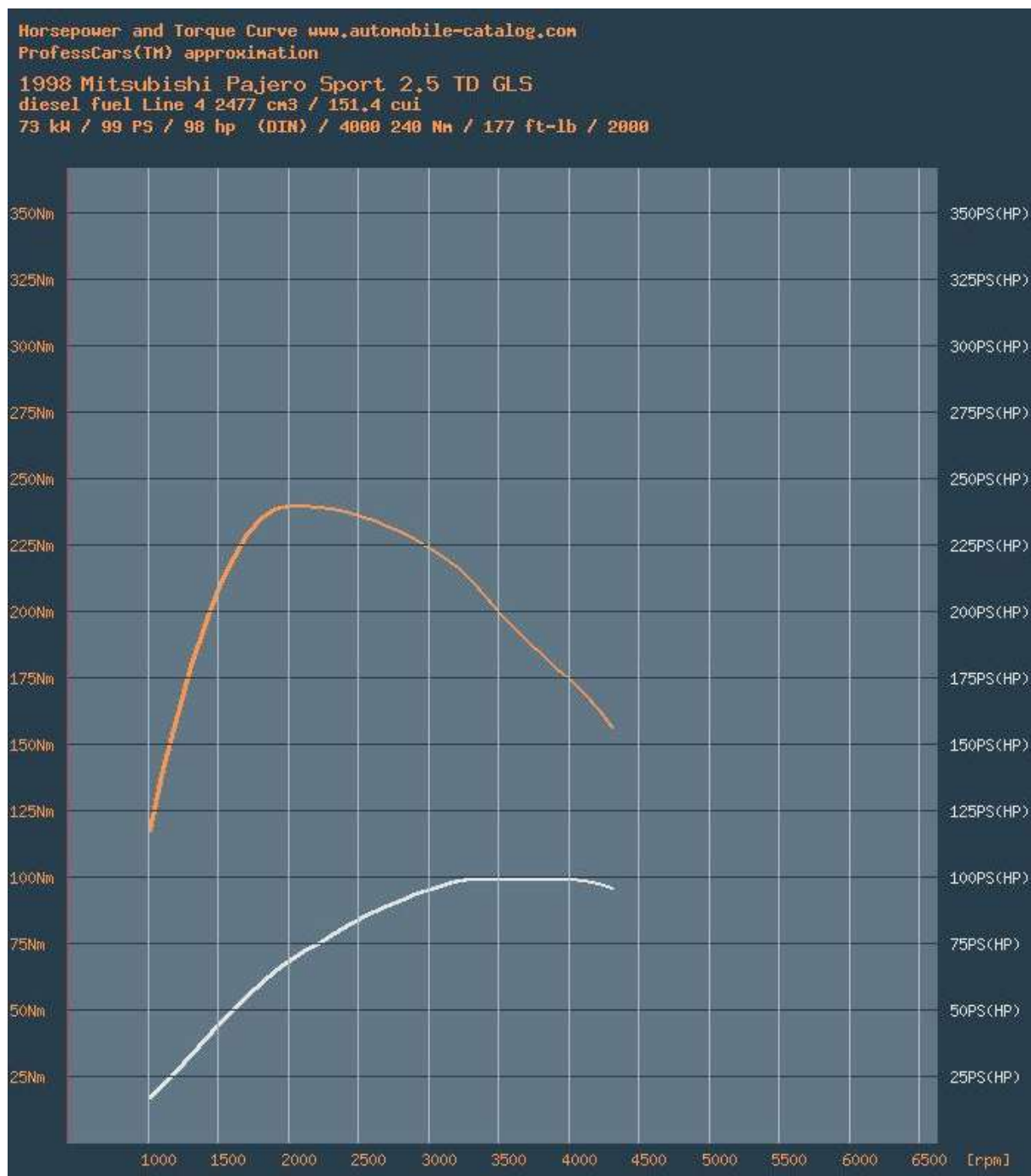


Рисунок 1 – BCX двигателя 4D56 [3]

Чтобы получить схожую внешнюю скоростную характеристику, выбираются следующие параметры коэффициента избытка воздуха α и степени повышения давления p_k

4000 об/мин: $\alpha = 1,769$, $p_k = 1,5$

3000 об/мин: $\alpha = 1,6$, $p_k = 1,5$

2000 об/мин: $\alpha = 1,5$, $p_k = 1,5$

1000 об/мин: $\alpha = 2$, $p_k = 1,25$

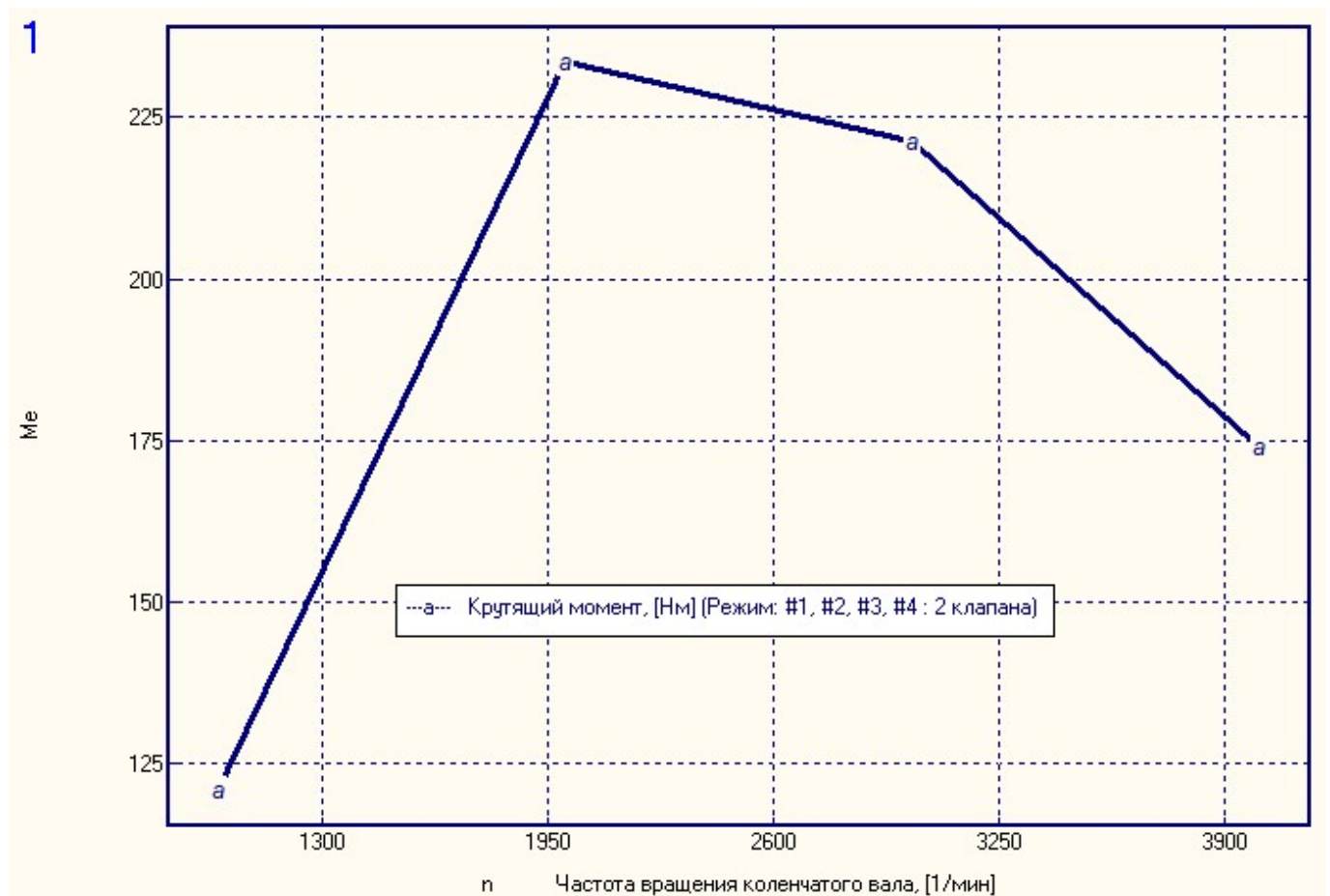


Рисунок 2 – График зависимости крутящего момента от частоты вращения коленвала, полученный с помощью Diesel-RK

Ниже для сравнения показан график, на котором сопоставлены крутящие моменты реального двигателя с крутящим моментом, полученным из программы Diesel-RK. Различие математической модели от реальной не превосходит 1%.

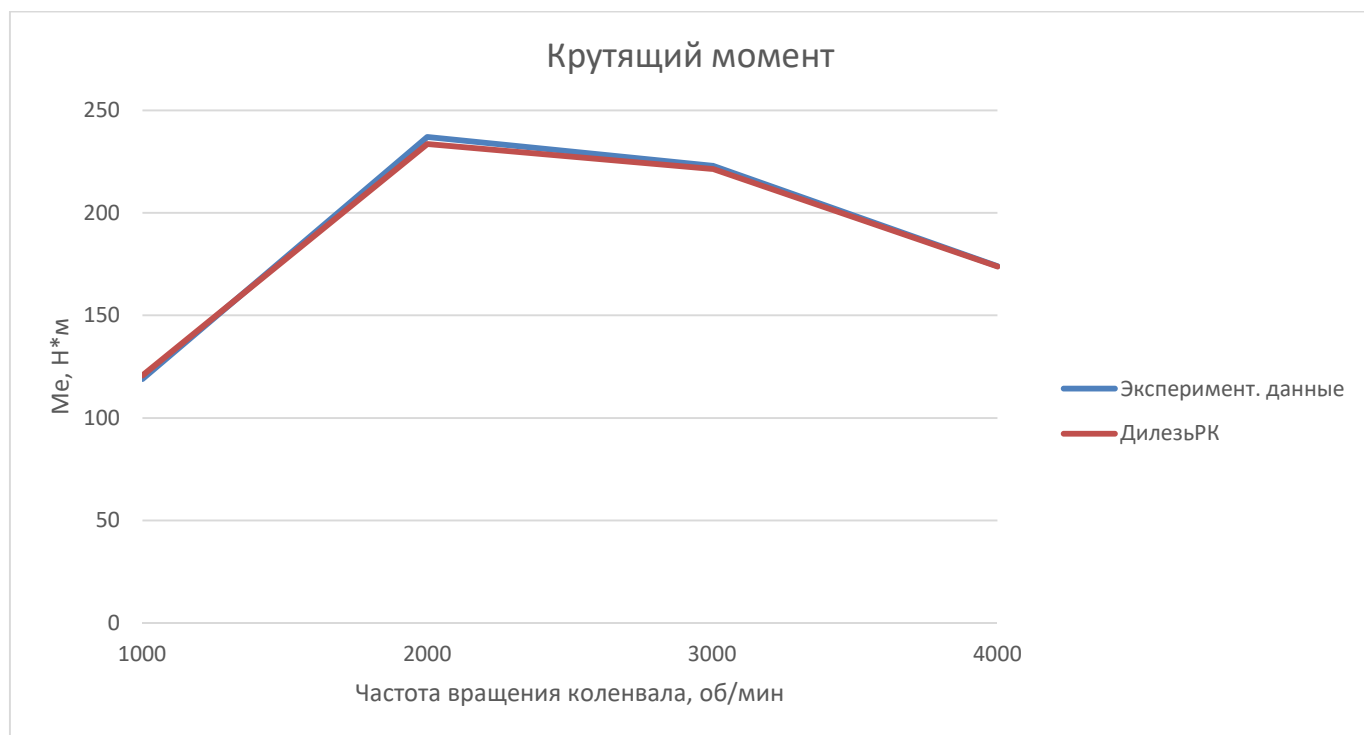


Рисунок 3 – График зависимости крутящего момента от частоты вращения коленвала

4 Основные направления модернизации двигателя

Основным направлением модернизации двигателя является переход от двухклапанной головки цилиндров к четырехклапанной и переход от разделенной камеры сгорания к полуразделённой. Так как в программе Diesel-RK нет возможности рассчитывать разделенную КС, поэтому изначально для расчетов выбирается полуразделенная КС.

Для того, чтобы выбрать новые размеры клапанной, спроектированы и сопоставлены сборки поршней цилиндра с моделями клапанов для двухклапанной и четырехклапанной головок.

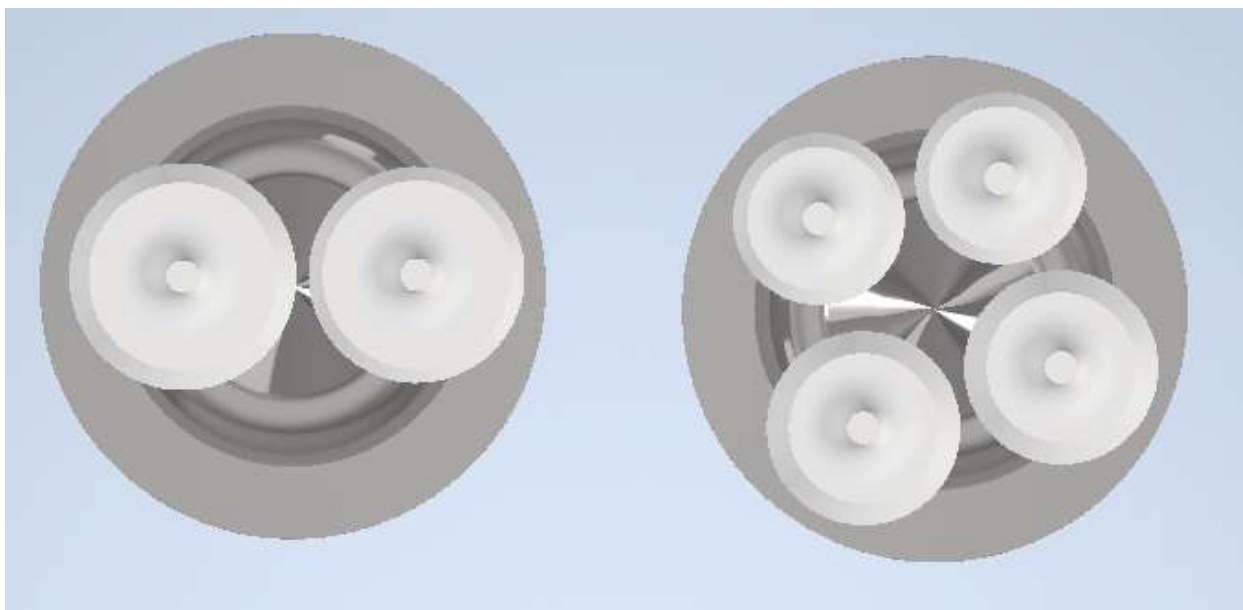


Рисунок 3 – Эскизная компоновка двух и четырех клапанов в ГБЦ в SolidWorks

Полученные с моделей размеры клапанов представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Размеры впускных клапанов

| | двухклапанный | четырёхклапанный |
|----------------------------------|---------------|------------------|
| Диаметр стебля клапана, D_s | 10 | 6 |
| Диаметр клапанного канала, D_s | 34 | 27 |
| Диаметр тарелки клапана, D_t | 41 | 35 |
| Коэффициент расхода, μ_t | 0,7 | 0,73 |

Таблица 3 – Размеры выпускных клапанов клапанов

| | двухклапанный | четырёхклапанный |
|----------------------------------|---------------|------------------|
| Диаметр стебля клапана, D_s | 10 | 6 |
| Диаметр клапанного канала, D_s | 34 | 27 |
| Диаметр тарелки клапана, D_t | 39 | 35 |
| Коэффициент расхода, μ_t | 0,7 | 0,8 |

Далее проводится расчет по четырем точкам ВСХ для двухклапанной и четырехклапанной ГБЦ. На рисунке 4, 5, 6 сопоставлены коэффициент наполнения, коэффициент остаточных газов, среднее давление насосных ходов.

Коэффициент наполнения увеличился на высоких оборотах, а коэффициент остаточных газов уменьшился только для режима номинальной мощности (4000 об/мин). Среднее давление насосных ходов меньше для всех четырех режимов, следовательно, работа насосных ходов уменьшается, при переходе к четырехклапанной ГБЦ.

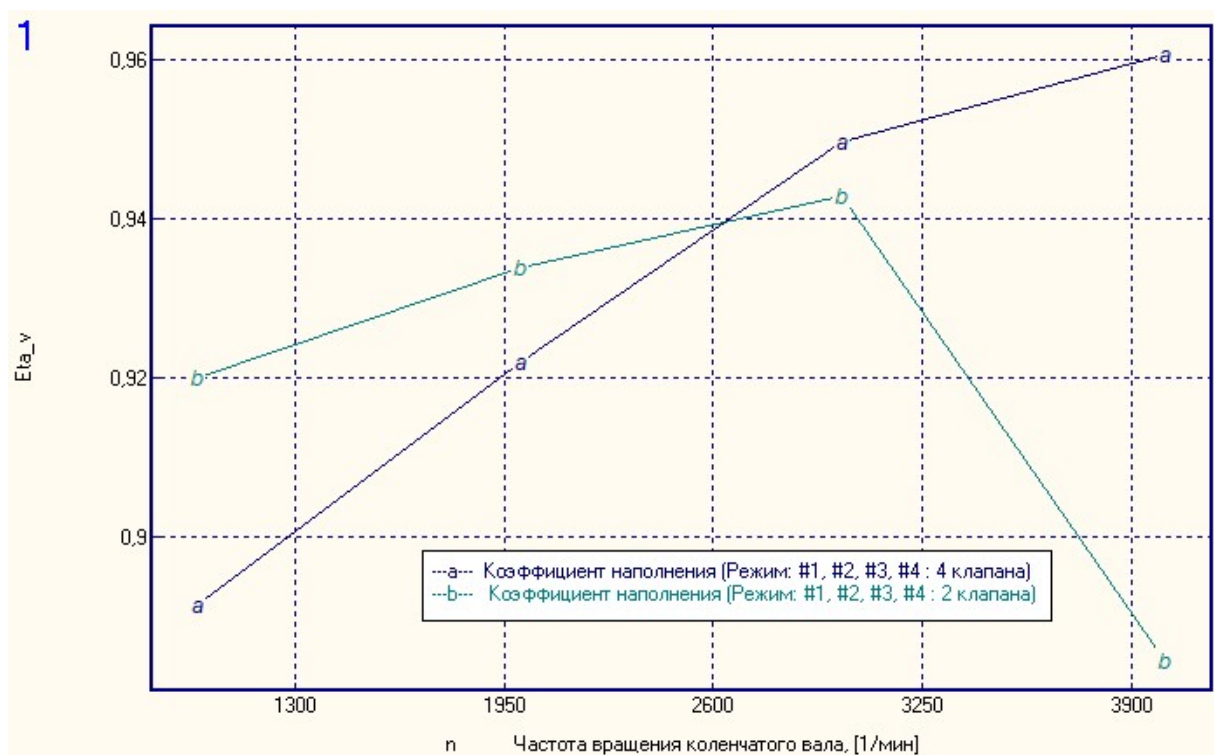


Рисунок 4 – График зависимости коэффициента наполнения от частоты вращения коленчатого вала

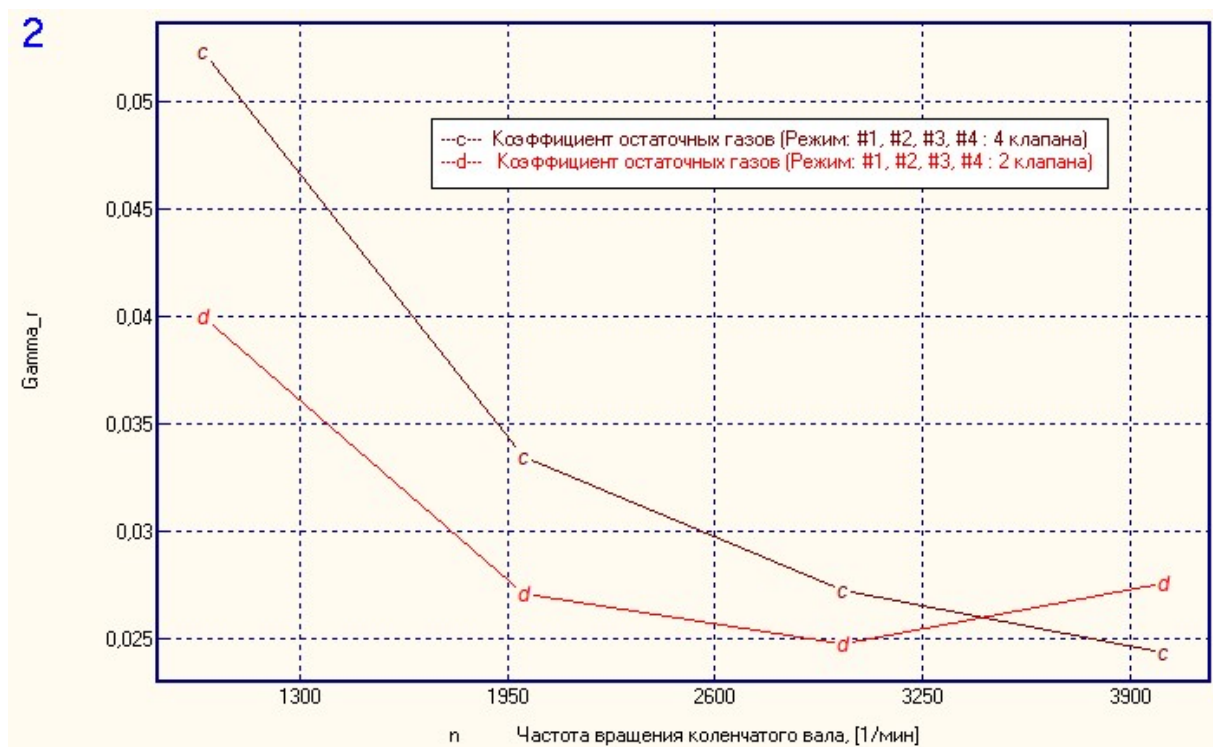


Рисунок 5 – График зависимости коэффициента остаточных газов от частоты вращения коленчатого вала

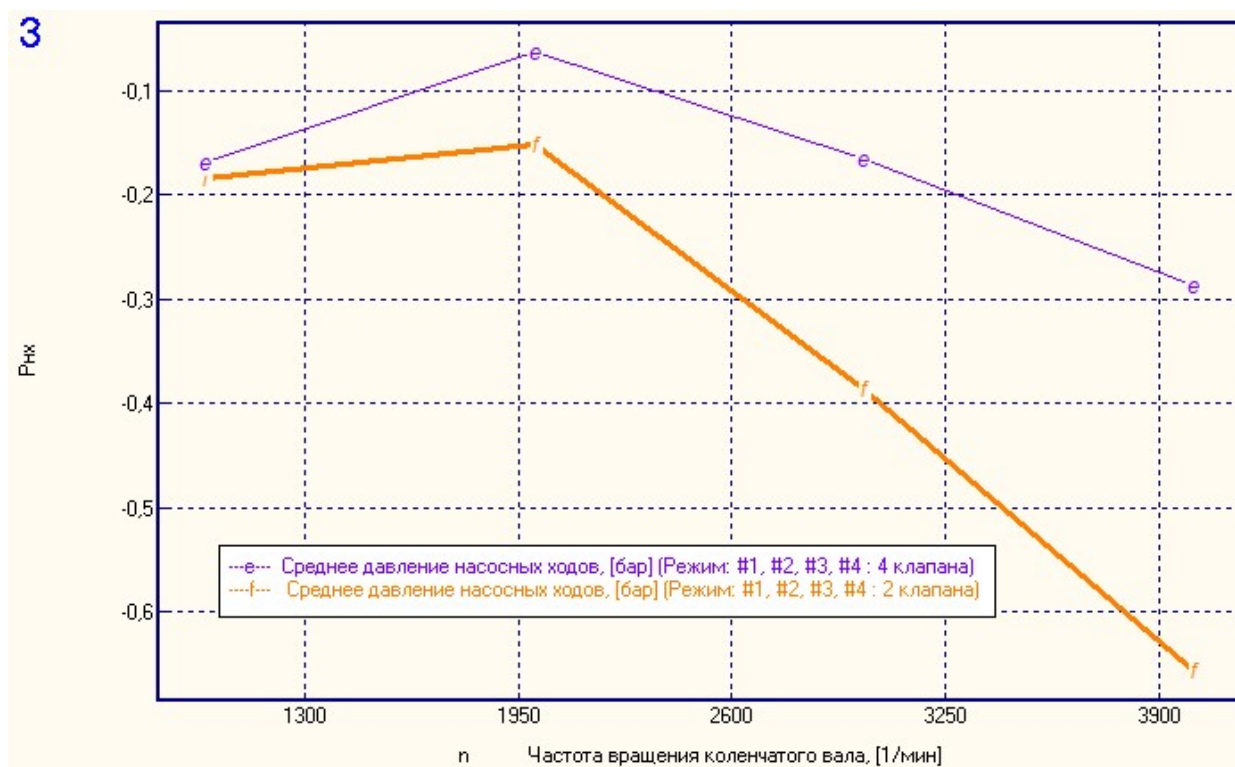


Рисунок 6 – График зависимости среднего давления насосных ходов от частоты вращения коленчатого вала

5 Изменение фаз ГРМ при переходе на четырехклапанную ГБЦ

Цель – улучшение коэффициента наполнения и удельного эффективного расхода топлива двигателя. Выбор новых углов открытия и закрытия клапанов на частоте вращения 2000 об/мин произведён в программе Diesel-RK по следующему алгоритму:

- а) Одномерное сканирование по углу закрытия впускного клапана. Целевая функция – коэффициент наполнения.
- б) Двумерное сканирование по углу открытия впускного клапана и углу закрытия выпускного клапана. Целевая функция – коэффициент наполнения.
- в) Одномерное сканирование по углу открытия выпускного клапана. Целевая функция – удельный эффективный расход топлива.

Из предыдущего пункта видно, что при переходе четырехклапанной ГБЦ необходима провести оптимизацию фаз ГРМ для частоты вращения 2000 об/мин. Оптимизация фаз ГРМ для частоты 1000 об/мин не производится.

Таблица 4 - Исходные значения фаз газораспределения:

| Параметр | Значение |
|---|----------|
| Угол опережения открытия выпускного клапана | 10 |
| Угол запаздывания закрытия впускного клапана | 42 |
| Угол запаздывания закрытия выпускного клапана | 64 |
| Угол опережения открытия впускного клапана | 15 |

5.1 Выбор фаз ГРМ для частоты вращения 2000 об/мин

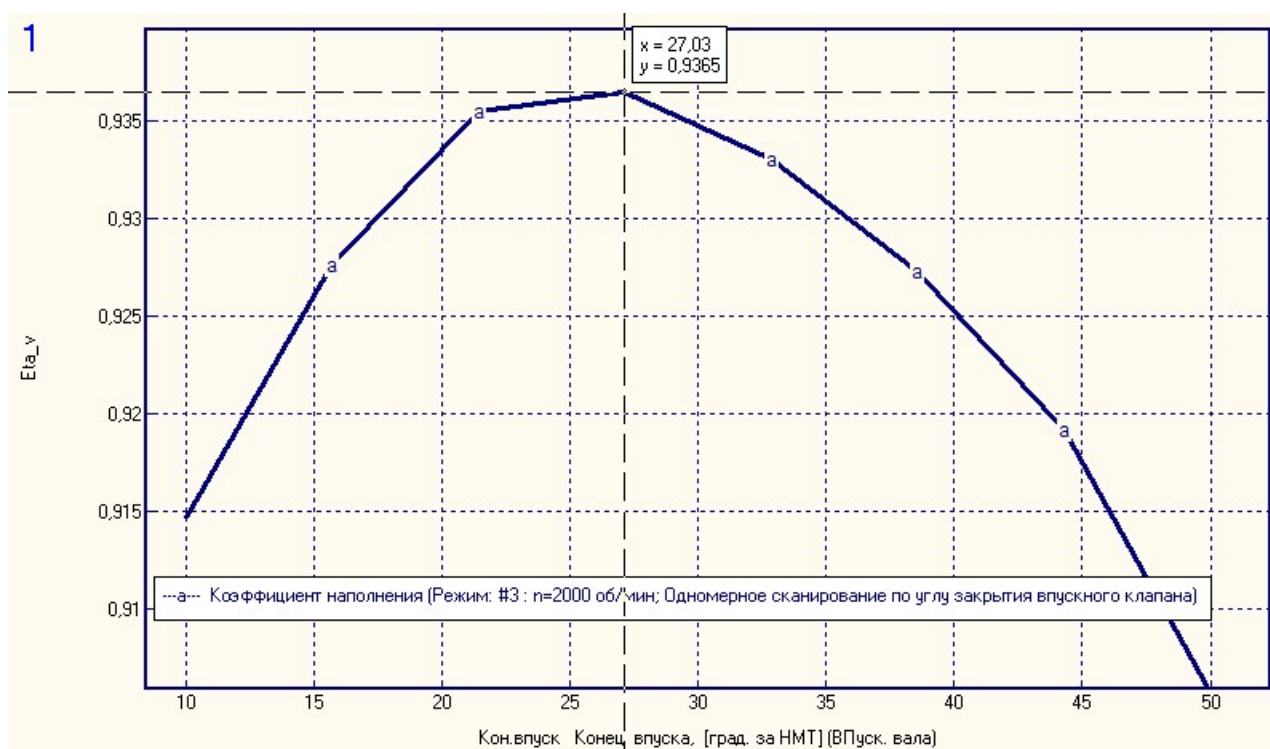


Рисунок 7 – График зависимости коэффициента наполнения от угла закрытия впускного клапана

Выбирается угол закрытия впускного клапана - 27 град за НМТ.

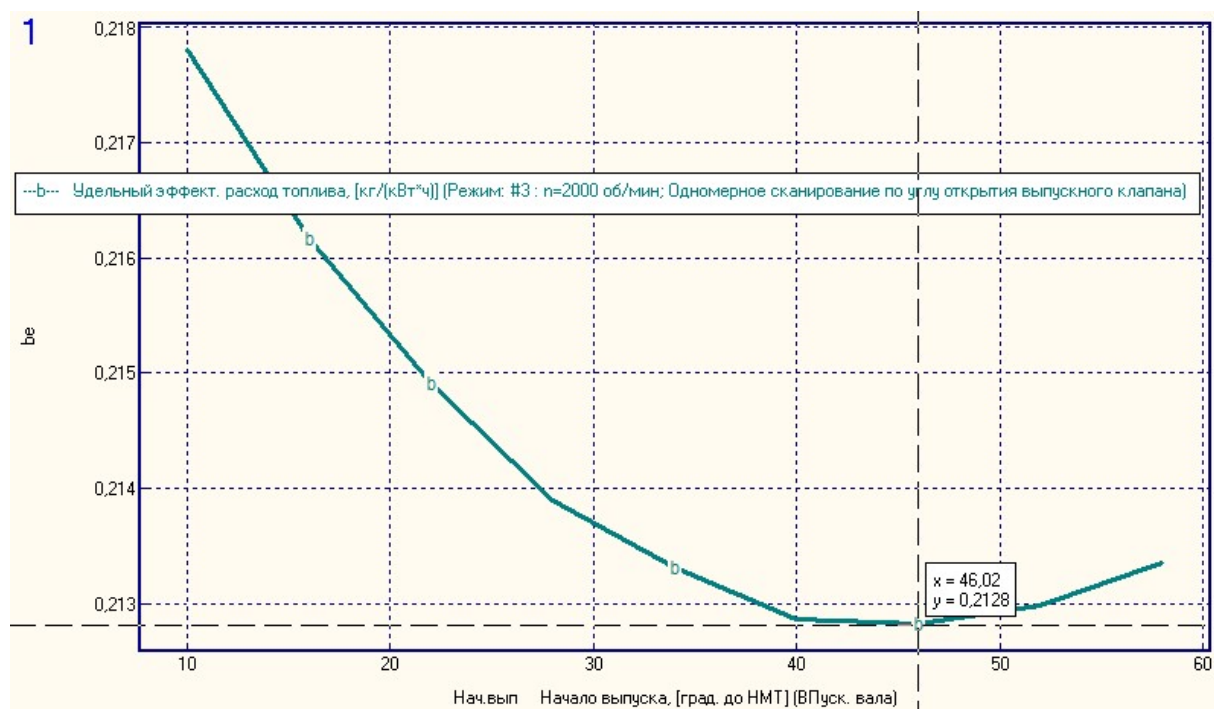


Рисунок 8 – График зависимости удельного эффективного расхода от угла открытия выпускного клапана

Выбирается угол открытия выпускного клапана - 46 град до НМТ.

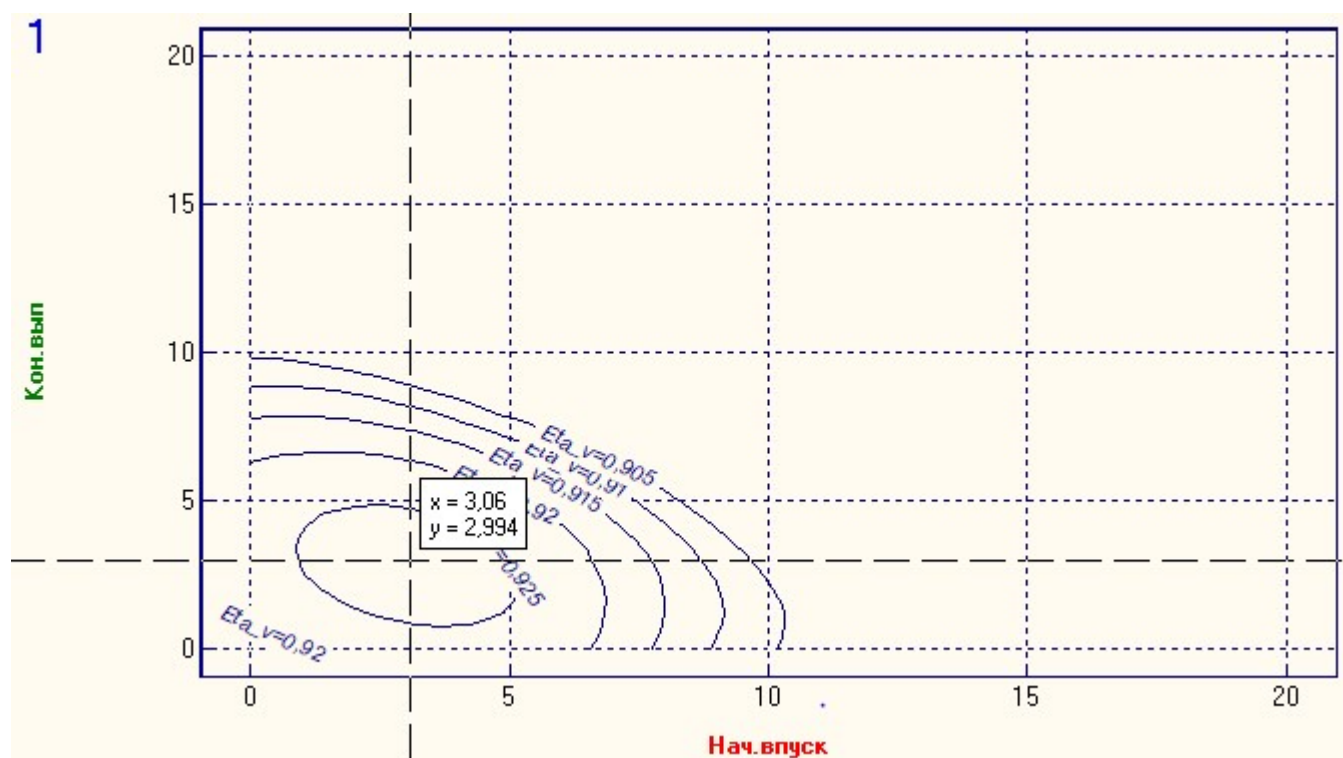


Рисунок 9 – Двумерное сканирование по углу открытия впускного клапана и углу закрытия выпускного клапана

Выбирается угол открытия впускного клапана и углу закрытия выпускного клапана - 3 и 3 град соответственно

Таблица 5 – Результаты оптимизации фаз ГРМ на режиме 2000 об/мин

| | Исходные фазы | n = 2000 об/мин |
|---|---------------|-----------------|
| Угол опережения открытия выпускного клапана | 64 | 46 |
| Угол запаздывания закрытия впускного клапана | 42 | 27 |
| Угол запаздывания закрытия выпускного клапана | 15 | 3 |
| Угол опережения открытия впускного клапана | 10 | 3 |

5.2 Анализ характеристик двигателя в зависимости от фаз ГРМ

Сравнение крутящего момента, коэффициента наполнения и удельного эффективного расхода при исходных фазах газораспределения, при переходе на четырехклапанную ГБЦ и оптимизированных на режиме 2000 об/мин:

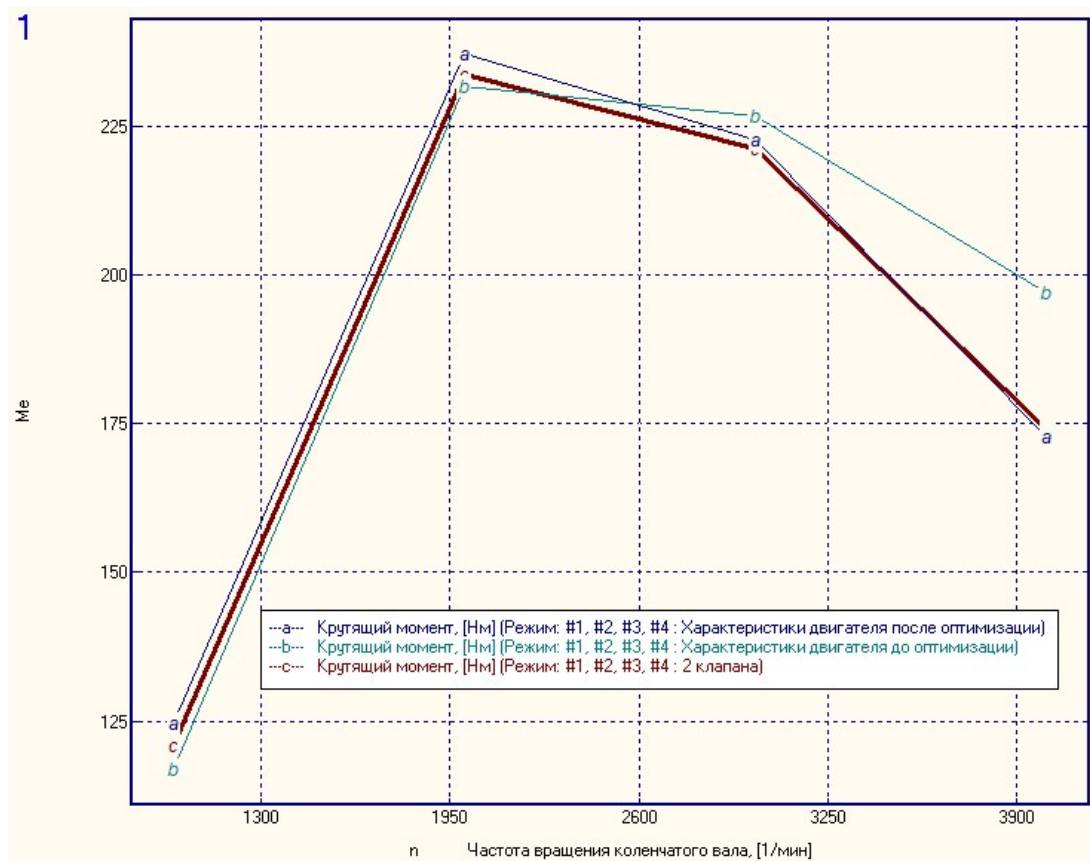


Рисунок 10 - График крутящего момента в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

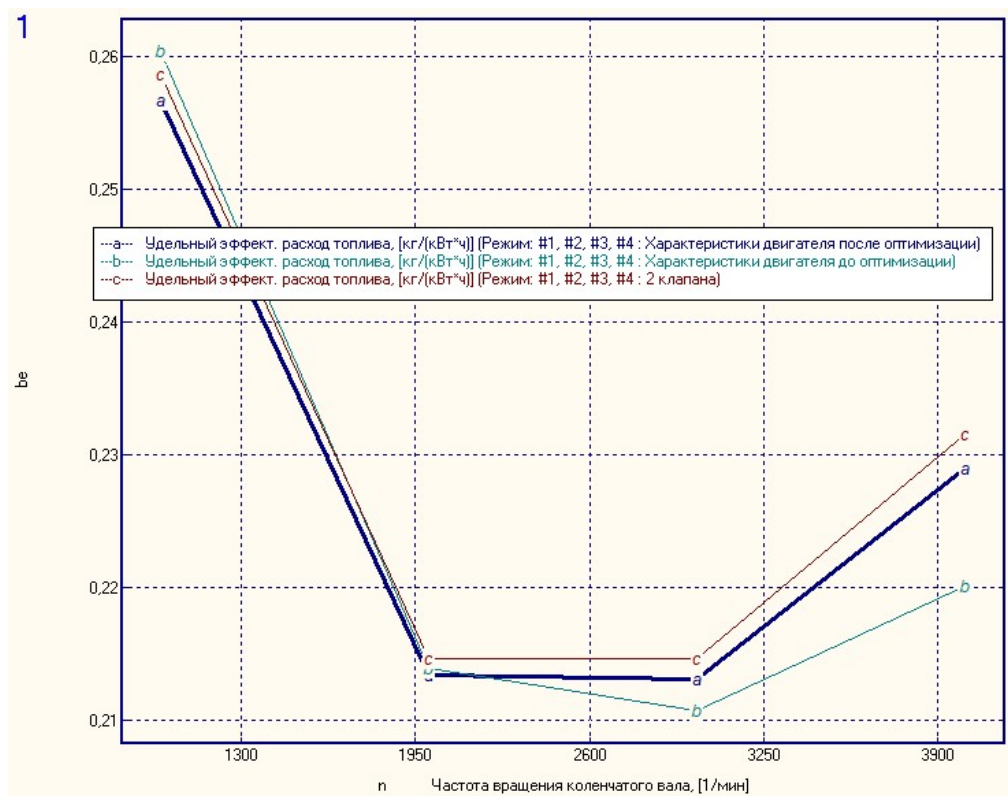


Рисунок 11 - График удельного расхода топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

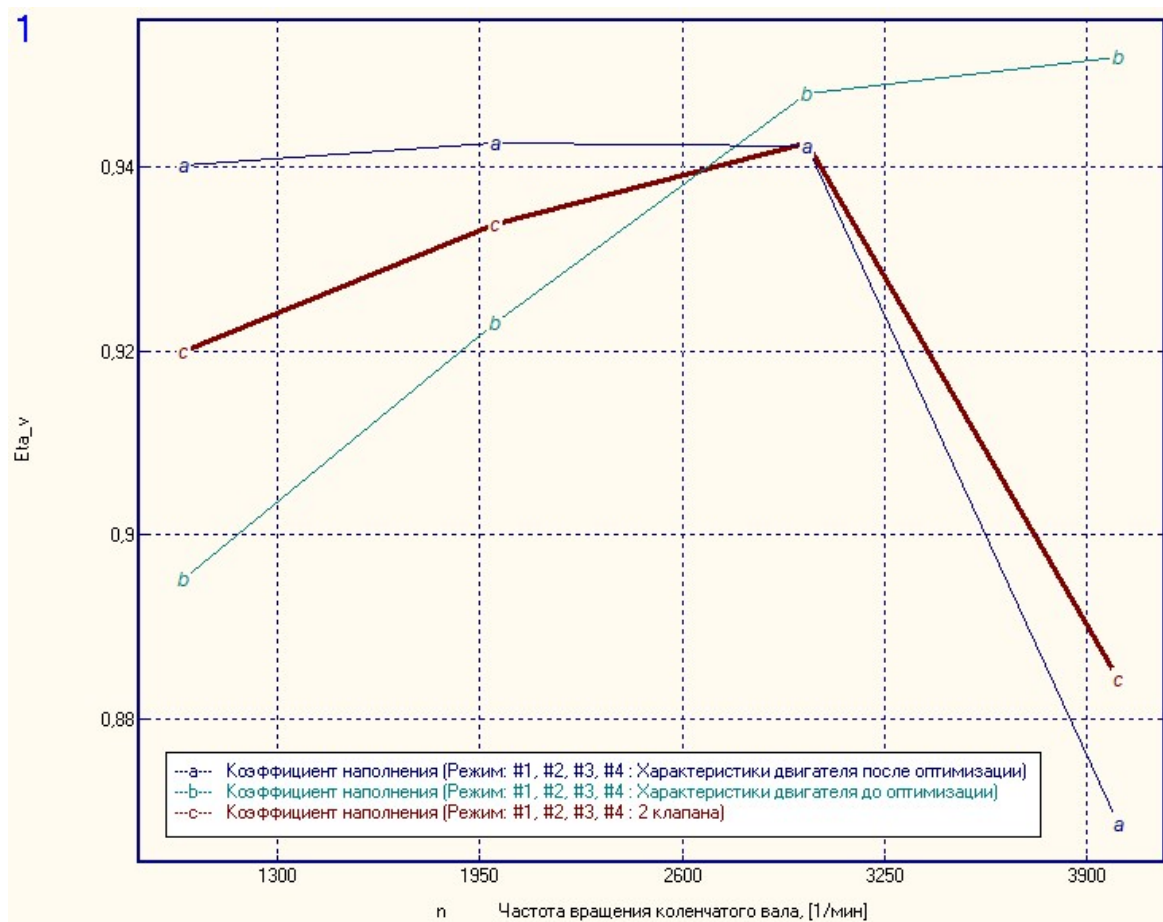


Рисунок 12 - График коэффициента наполнения в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

Проанализировав данные графики можно сказать об улучшении всех показателей при использовании фаз газораспределения, оптимизированных на режимах 2000 об/мин.

Использование фаз, оптимизированных на 2000 об/мин дает улучшение характеристик на более низких частотах.

6 Оптимизация степени сжатия, степени повышения давления в компрессоре и УОВТ

Проводится оптимизация степени повышения давления в компрессоре π_k . Для этого π_k на номинальной частоте увеличивается так, чтобы коэффициент избытка воздуха при сгорании $\alpha = 2$. Также цикловая подача при режиме 1000 об/мин увеличивается так, чтобы $\alpha = 2$.

Следующим шагом будет оптимизация степени сжатия и УОВТ. Для в программе Diesel-RK этого проводится двумерное сканирование для всех четырех режимов по степени сжатия от 12 до 22 и УОВТ от 5 до 25 градусов до ВМТ. Далее выбираются 3 значения степени сжатия и для каждого режима выбираются УОВТ. Целевые функции: удельный эффективный расход топлива, кроме того во внимание принимаются максимальное давление цикла, эмиссия NOx приведенное к NO, эмиссия твердых частиц.

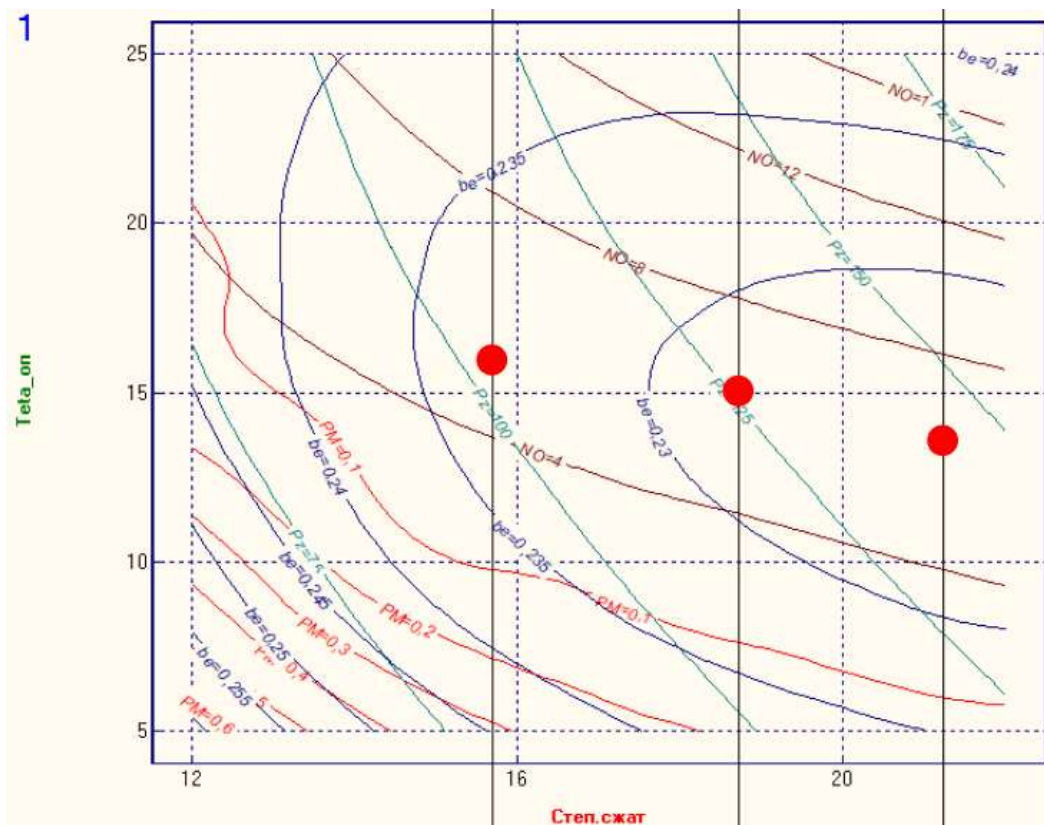


Рисунок 13 – Двумерное сканирование по степени сжатия и УОВТ для режима 4000 об/мин

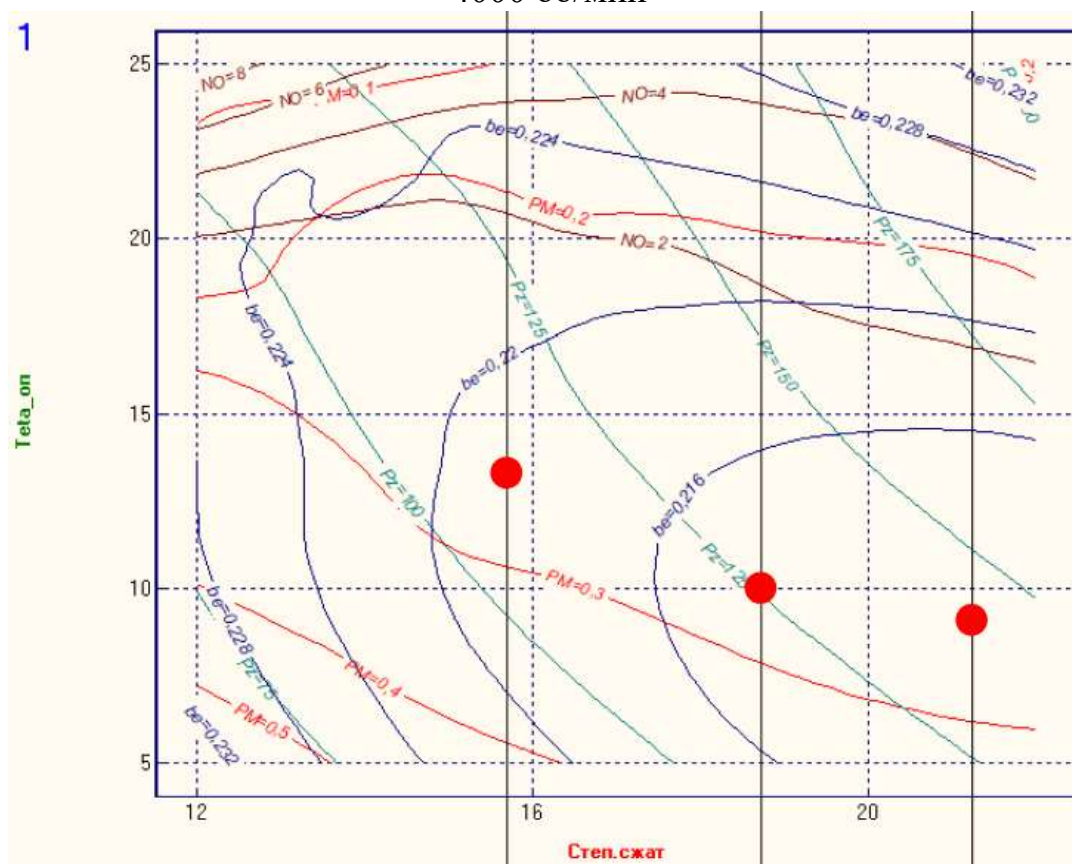


Рисунок 14 – Двумерное сканирование по степени сжатия и УОВТ для режима 3000 об/мин

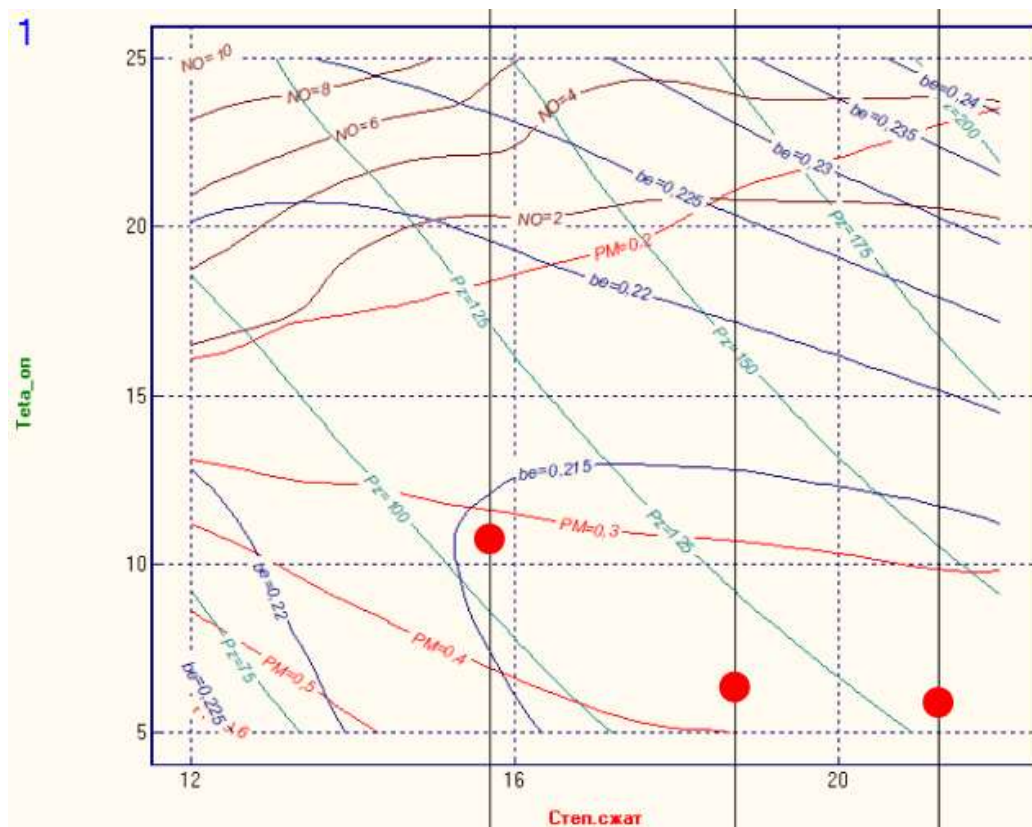


Рисунок 14 – Двумерное сканирование по степени сжатия и УОВТ для режима 2000 об/мин

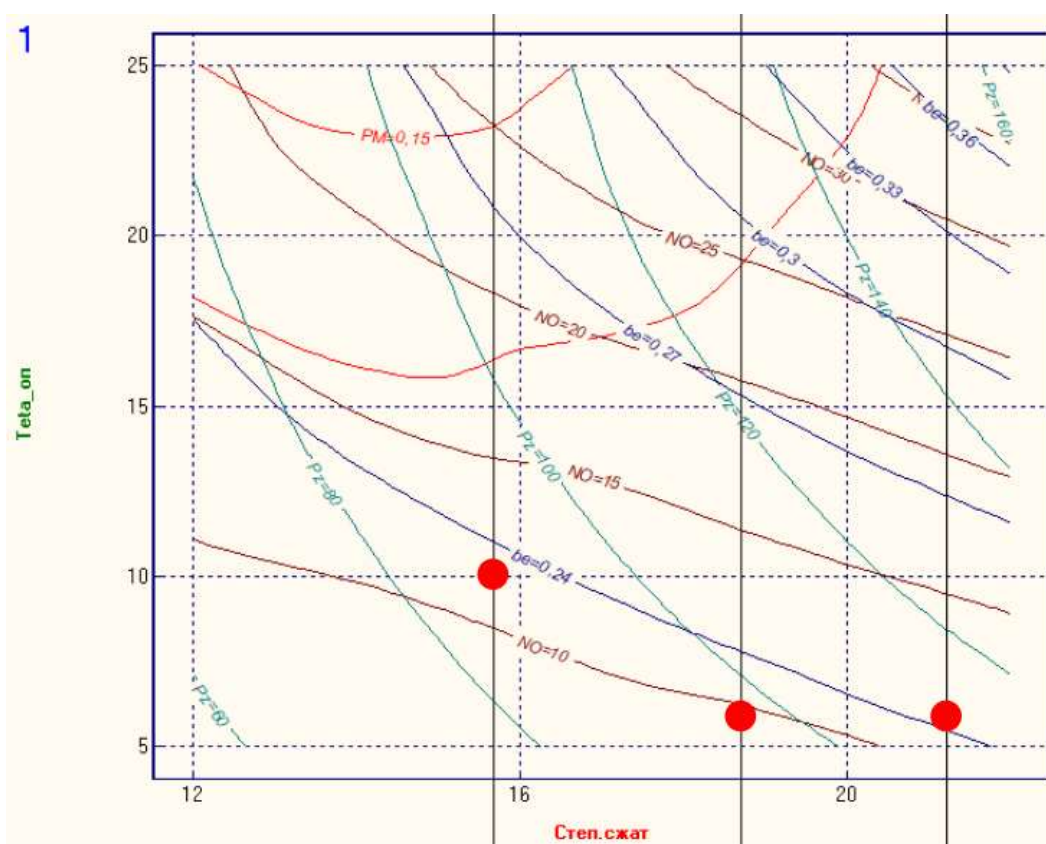


Рисунок 15 – Двумерное сканирование по степени сжатия и УОВТ для режима 1000 об/мин

Таблица 6 – Результаты двумерного сканирования

| Степень сжатия | n, об/мин | УОВТ, град. до ВМТ |
|----------------|-----------|--------------------|
| 21,14 | 4000 | 13 |
| | 3000 | 9 |
| | 2000 | 5.5 |
| | 1000 | 6 |
| 18,60 | 4000 | 15 |
| | 3000 | 10 |
| | 2000 | 6 |
| | 1000 | 6 |
| 15,50 | 4000 | 16 |
| | 3000 | 13 |
| | 2000 | 10,5 |
| | 1000 | 10 |

Сравниваются целевые функции по степени сжатия.

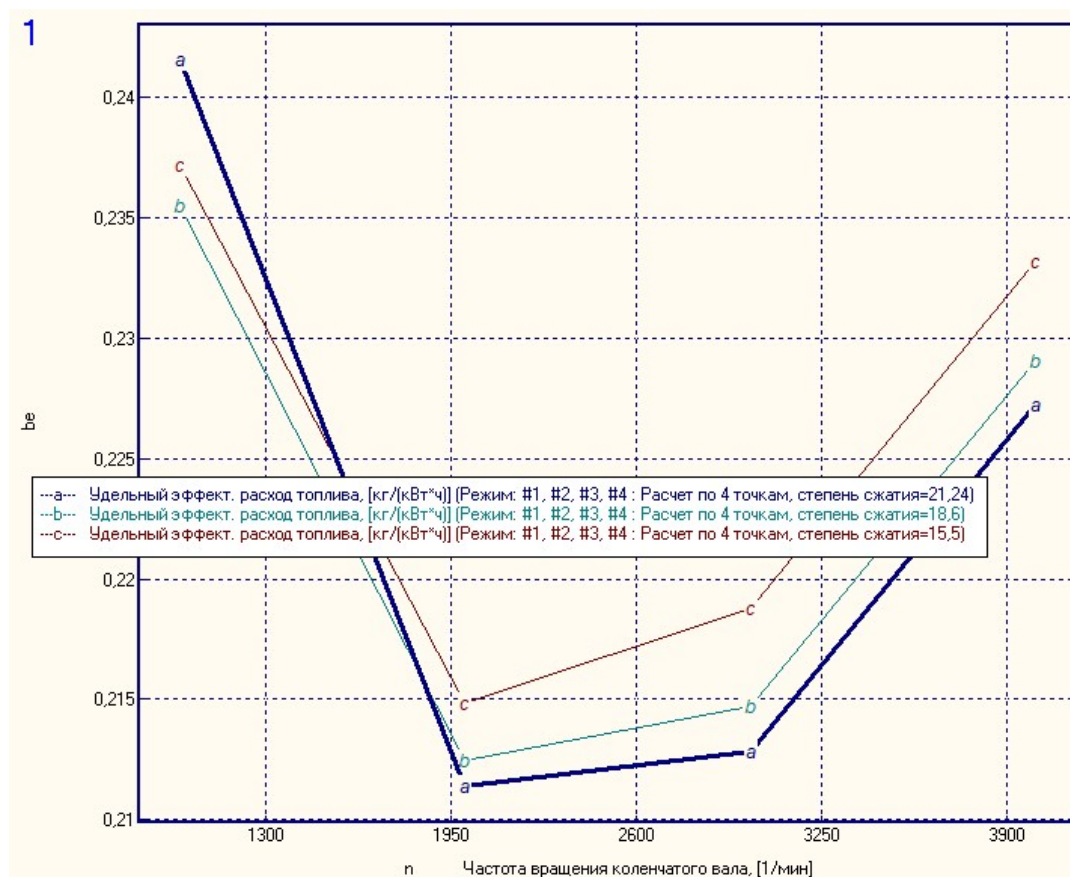


Рисунок 16 – График зависимости удельного эффективного расхода топлива от частоты вращения коленвала

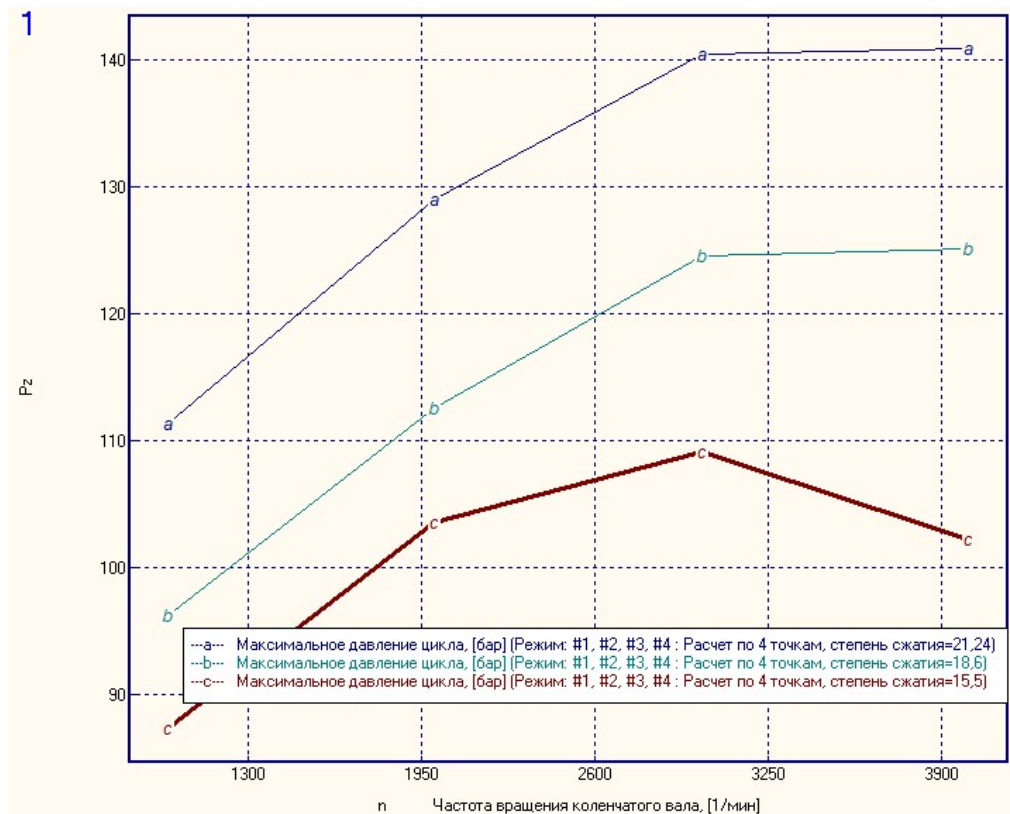


Рисунок 17 – График зависимости максимального давления от частоты вращения коленвала

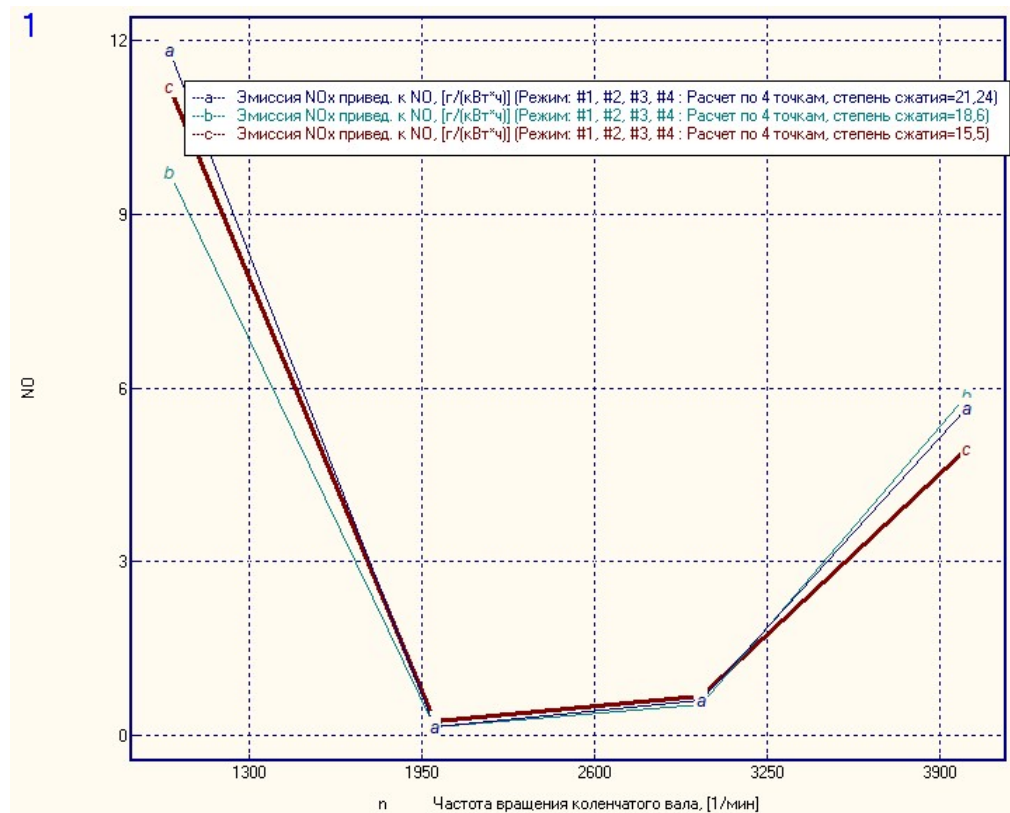


Рисунок 18 – График зависимости эмиссии NO_x приведенной к NO от частоты вращения коленвала

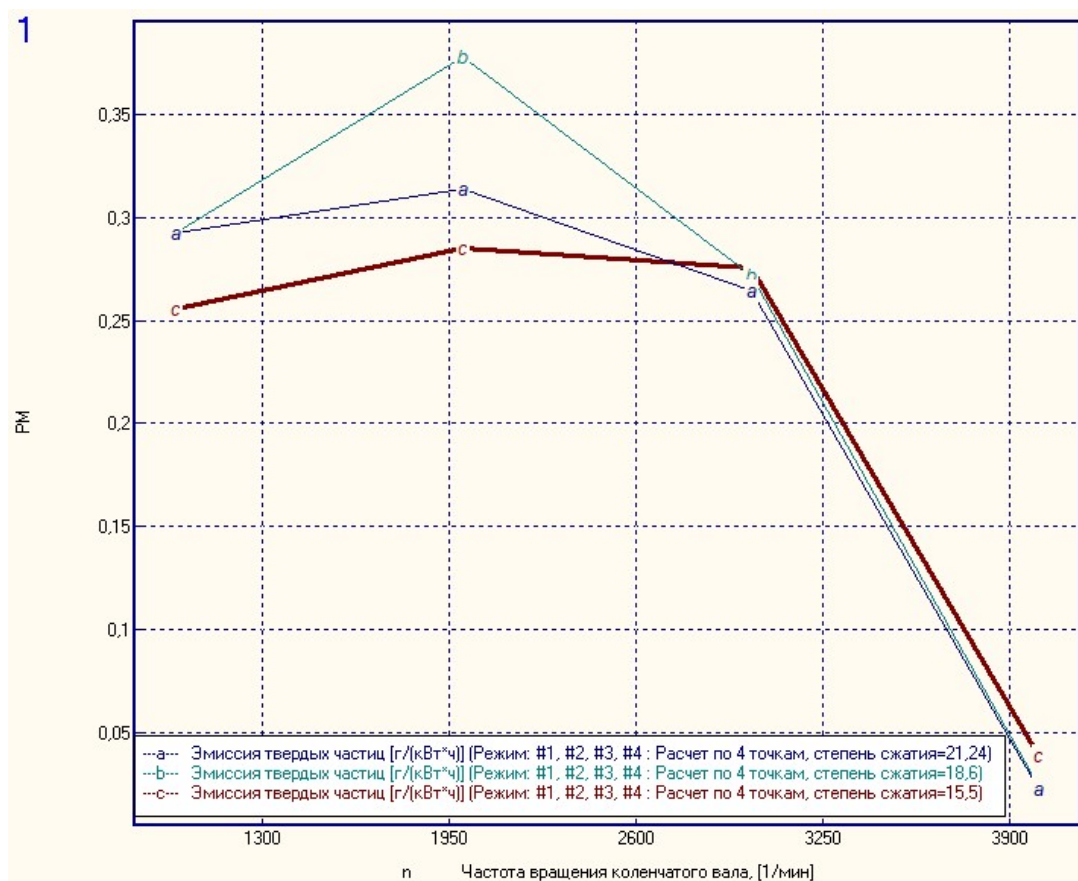


Рисунок 19 – График зависимости эмиссии твердых частиц от частоты вращения коленвала

Удельный эффективный расход топлива минимальный при степени сжатия 21,14. Остальные характеристики в пределах допустимого для данного режима.

Выбирается степень сжатия 21,14.

Таблица 7 – Выбираемые степень сжатия и УОВТ для 4 режимов.

| Степень сжатия | n, об/мин | УОВТ, град. до ВМТ |
|----------------|-----------|--------------------|
| 21,14 | 4000 | 13 |
| | 3000 | 9 |
| | 2000 | 5,5 |
| | 1000 | 6 |

7 Результаты модернизации двигателя

Окончательное сравнение характеристик двигателя с начальными и конечными параметрами производится в программе Diesel-RK.

Таблица 8 – Параметры фаз двигателя

| | |
|---|--------------------|
| | n = 2000 об/мин |
| Угол опережения открытия выпускного клапана | 46 |
| Угол запаздывания закрытия впускного клапана | 27 |
| Угол запаздывания закрытия выпускного клапана | 3 |
| Угол опережения открытия впускного клапана | 3 |

Таблица 9 - Степень сжатия и УОВТ двигателя

| Степень сжатия | n, об/мин | УОВТ, град. до ВМТ |
|----------------|-----------|--------------------|
| 21,14 | 4000 | 13 |
| | 3000 | 9 |
| | 2000 | 5,5 |
| | 1000 | 6 |

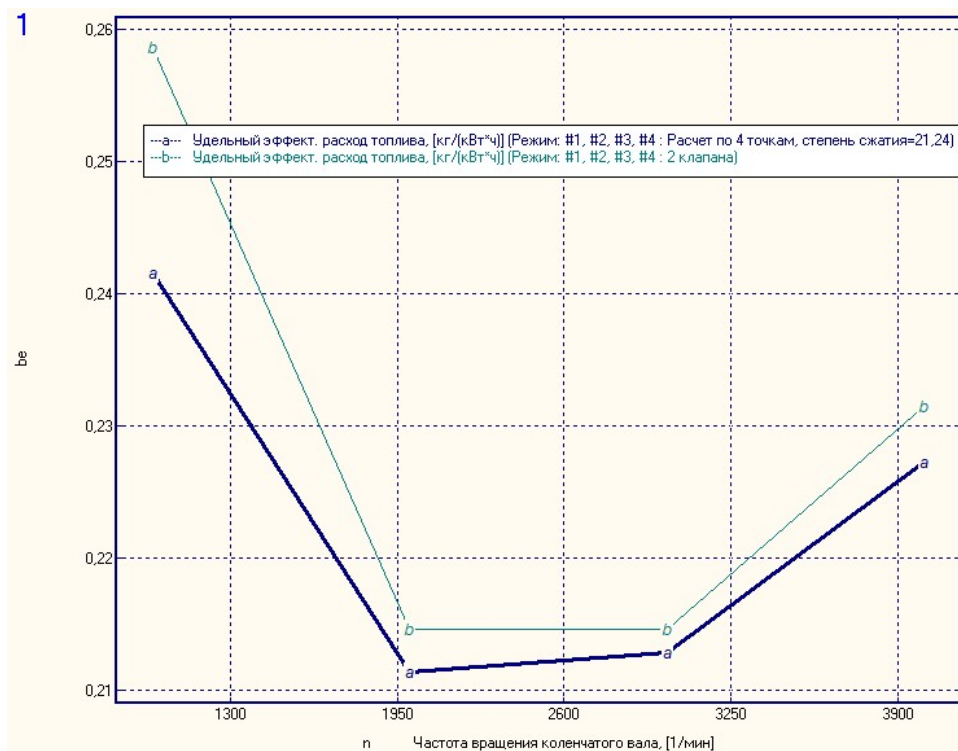


Рисунок 20 – График зависимости удельного эффективного расхода топлива от частоты вращения коленвала

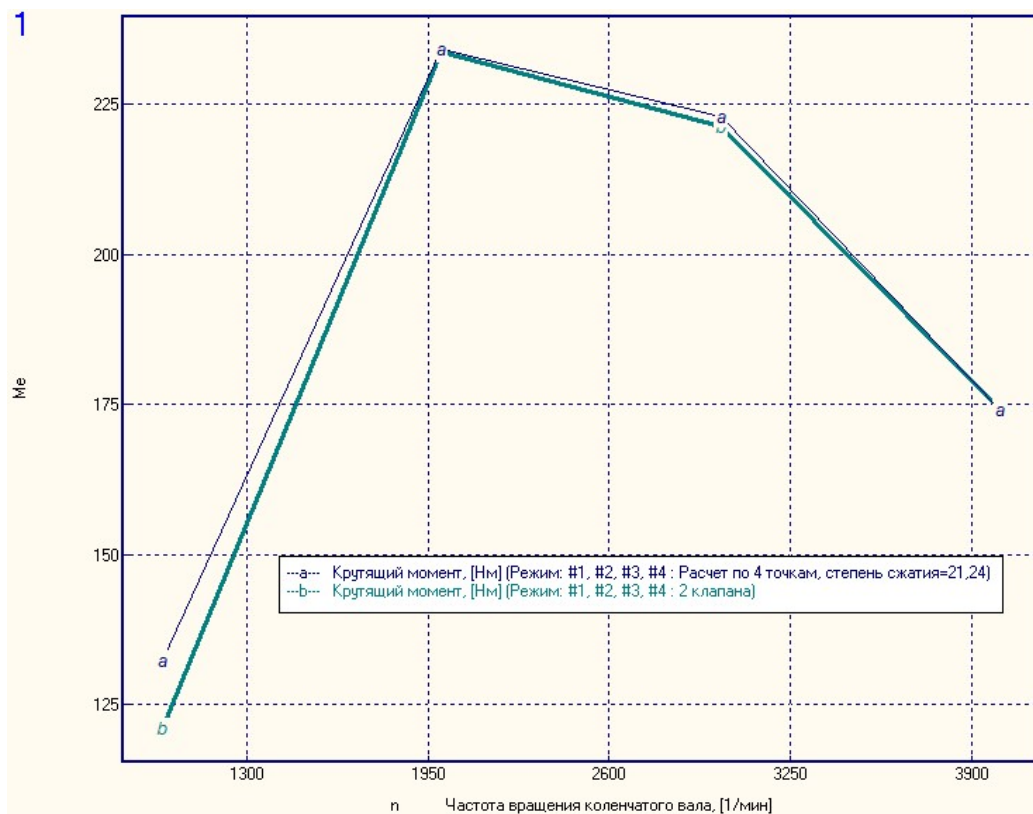


Рисунок 21 – График зависимости крутящего момента от частоты вращения коленчатого вала

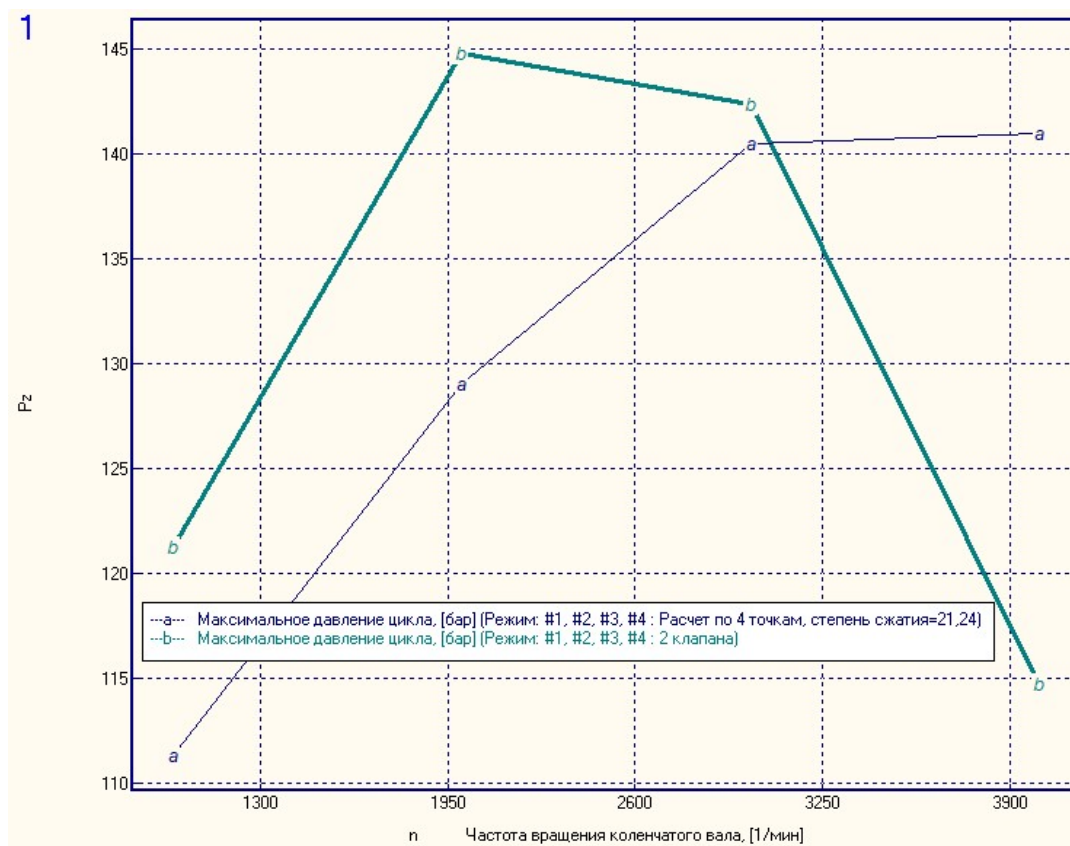


Рисунок 22 – График зависимости максимального давления от частоты вращения коленвала

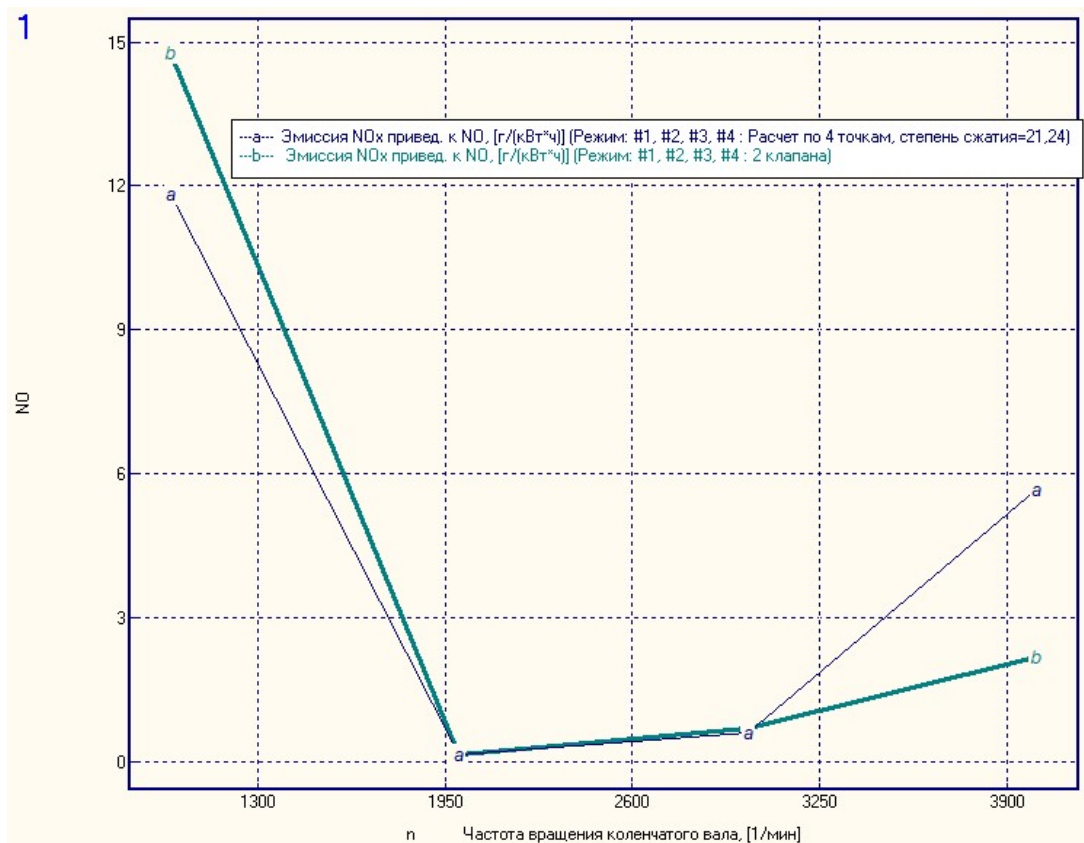


Рисунок 23 – График зависимости эмиссии NOx приведенной к NO от частоты вращения коленвала

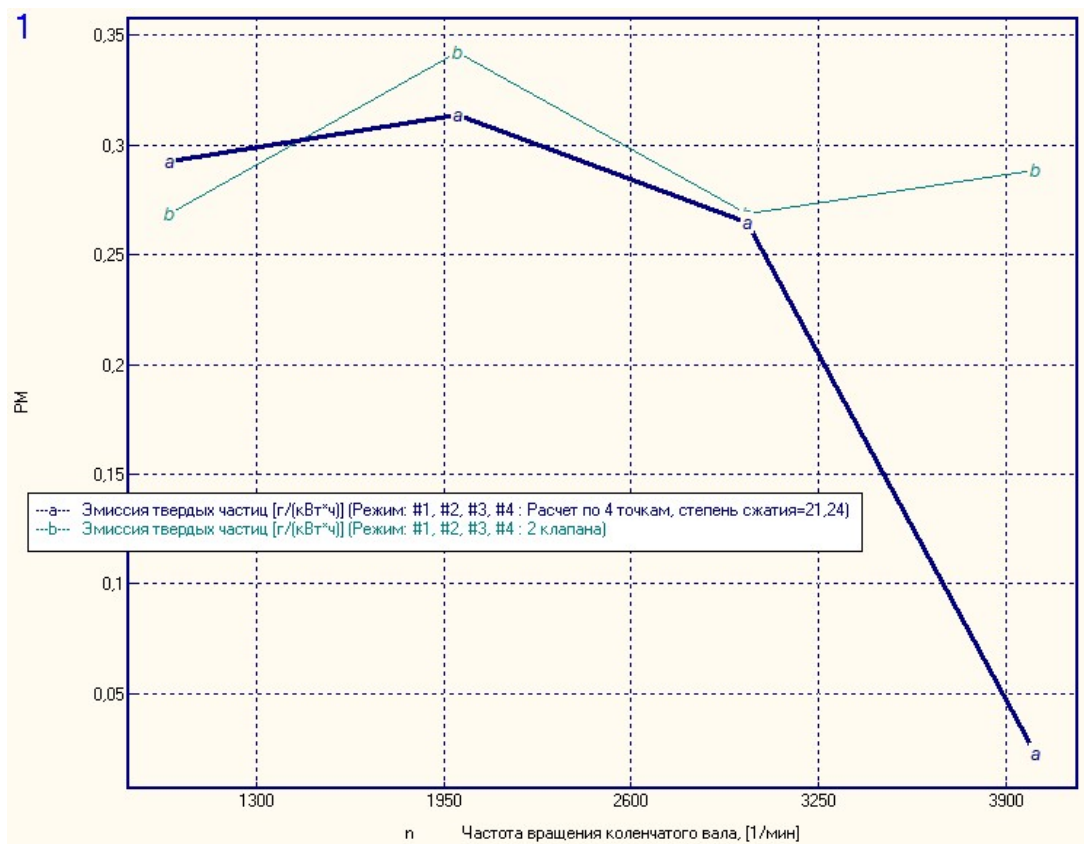


Рисунок 24 – График зависимости эмиссии твердых частиц от частоты вращения коленвала

Заключение

1. В процессе выполнения курсовой работы модернизирован двигатель путем перехода с двухклапанной к четырехклапанной ГБЦ.
2. В процессе выполнения курсовой работы были подобраны фазы газораспределения в программе Diesel-RK для двигателя Митсубиси 4D56. Сравнение характеристик двигателя на двух режимах и последующий анализ влияния фаз ГРМ позволили определить сочетания углов закрытия и открытия впускного и выпускного клапанов, улучшающих рассматриваемые характеристики равномерно на всех режимах работы двигателя.
3. Оптимизированы степень сжатия, степень повышения давления в компрессоре и УОВТ. Двумерные сканирования этих параметров по 4 режимам и последующий анализ характеристик двигателей для каждого расчета позволили улучшить коэффициент наполнения двигателя.

Список использованных источников.

1. Учебник для втузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.
2. Кулешов А.С. Развитие методов расчета и оптимизация рабочих процессов ДВС. 2011. – Москва, МГТУ им. Баумана. – 235 с.
3. Mitsubishi Pajero Sport [Электронный ресурс]: история и вопросы по модификациям 4D56 ч.2. URL: <https://www.drive2.ru/l/453324247159278120/>
4. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-ПК [Электронный ресурс]. URL: <https://diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Main>
5. Mitsubishi Motors Corporation Engine 4D56 (1994 and subsequent), 1995 – 92 с.

Приложение А

Характеристики двигателя на номинальной частоте вращения 4000 об/мин с двухклапанной ГБЦ.

2020-12-14 22-11-15 "4L9.1/9.5"

Режим: #1 : RPM=4000 Ном. режим;

Назв.: "Alpha определяет qc"

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

4000.0 - n - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин]
72.822 - Ne - Мощность, [кВт]
8.8201 - Pe - Среднее эффективное давление, [бар]
173.86 - Me - Крутящий момент, [Нм]
0.03513 - qc - Цикловая подача топлива, [г]
0.23153 - be - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)]
0.24603 - be_ISO - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)]
0.36585 - Eta_e - Эффективный КПД
11.403 - Pi - Среднее индикаторное давление, [бар]
0.47298 - Eta_i - Индикаторный КПД
12.667 - Sp - Средняя скорость поршня, [м/с]
1.9274 - Ptp - Давление трения, [бар] (Intern.Expr)
0.82067 - Eta_mex - Механический КПД

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

1.0000 - Po* - Давление заторм. потока, [бар]
288.00 - To* - Температура заторможенного потока, [K]
1.0400 - Po_T - Статическое давление за турбиной, [бар]
0.98000 - Po_vx* - Давление заторм. потока за фильтром, [бар]

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

1.4200 - Pk - Давление перед впускным коллектором, [бар]
300.53 - Tk - Температура перед впускным коллектором, [K]
0.11867 - Gair - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с]
0.48526 - КПД_тк - КПД агрегата наддува
1.4506 - Pt* - Среднее давление перед турбиной, [бар]
793.28 - Tt* - Средняя температура перед турбиной, [K]
0.12254 - Ggas - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с]
1.7483 - Alfa_sum - Коэфф. избытка воздуха суммарный
-0.65532 - Pnx - Среднее давление насосных ходов, [бар]
0.88372 - Eta_v - Коэффициент наполнения
0.02753 - Gamma_r - Коэффициент остаточных газов
0.98823 - Fi - Коэффициент продувки
0.23211 - G_забр.% - % заброса О.Г. во впускной коллектор
1.9243 - G_утеч.% - % утечек через поршневые кольца

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.3941 - Ps - Среднее давление во впуск. коллект., [бар]
302.87 - Ts - Средн. температ. во впуск. коллект., [K]
28.804 - Ws - Средняя скорость воздуха, [м/с]
305.88 - Tws - Средняя температура стенки вп. колл., [K]
81.282 - Alfa_ws - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м²*K)]

418.03 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 332.43 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 6.8831 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.7 Dt= 37.1 Ds=11.1 Lv= 7.4 Lv_max= 10.7 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.4403 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 791.88 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 62.728 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 8.2981 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 716.32 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 161.43 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 1346.8 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 571.08 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.1829 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.4 Dt= 37.8 Ds=11.0 Lv= 6.0 Lv_max= 10.6 мм

----- СГОРАНИЕ -----

1.7690 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 114.59 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1791.8 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 5.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 28.000 - Fi_tz - Угол максимальн. температуры, [град. за ВМТ.]
 3.0545 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 3.5912 - Ring_Intn - Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 7566.5 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 669.05 - P_впр.max - Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 476.45 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 14.290 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 10.000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 27.454 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 5.1353 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 5.1
 4.8647 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.01376 - Sig_и_здр - Доля топлива, испаривш. за период задержки
 62.600 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 3.2; Phi_z 50%= 20.0; Phi_z 95%= 40.8
 1.7330 - Н_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.69335 - Н_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 18.968 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

11.907 - Hartridge- Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 1.2897 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.29505 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.28941 - PM - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 746.04 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 340.48 - NOx.v,ppm - Концентр. влажных NOx, [1/млн, (ppm)]
 2.1944 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 1.2782 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и PM
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.6317 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 366.01 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 89.361 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]

1060.8 - Tc - Температура конца сжатия, [K]
 5.8597 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 1089.9 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1050.7 - T_cp - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 556.79 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м2/К]
 542.78 - Tw_поршн - Средн. температура огневого днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_втулк - Средн. температ. огневой поверхн. втулки,[K]
 493.42 - Tw_крышк - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 386.32 - Tw_охл - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 11769. - Alf_w_охл- Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м2*К)] от
 стенки крышки цилиндра к охлажд. среде.
 2022.7 - q_крышки - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 1843.5 - q_поршня - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 1711.1 - q_цилинд - Тепловой поток во втулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.000 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_сопел - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_сопел - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 30.000 - Fi_впр.х - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 64.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 15.000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 10.000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 42.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

52768. - n_квд - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 5.9755 - N_квд - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_квд - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.11867 - G_квд - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 2.0550 - Gпр_квд - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.11904 - Gсог_квд - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 3109.4 - n.пр_квд - Частота вращения ротора КВД приведенная
 53676. - n.сог_квд- Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.5000 - П_квд - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_квд - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_квд - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_квд - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.4700 - Pк*"квд - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 338.10 - Tk*"квд - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Ecool_вд - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Tcool_вд - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.4200 - Pк*_квд - Давление наддува за КВД, [бар]
 300.53 - Tk*_квд - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

52768. - n_твд - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 5.9755 - N_твд - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_твд - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_твд - Механический КПД турбины ВД
 0.12254 - G_твд - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.02379 - Gпр_твд - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]

1873.5 - n.pr_твд - Частота вращения ротора ТВД приведенная,
 1.3970 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД
 6.9303 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.4506 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 793.28 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0383 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 746.32 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N₁ угол в₁ угол с₁ поверхн. | доли топлива в характерных зонах %
 с₁ плане | осью ц₁ контакта | Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

| | | | | | | | | | |
|---|--------|------|------------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.0 | 63.5 | кам.в порш | 11.54 | 0.20 | 2.55 | 0.76 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 51.4 | 63.5 | кам.в порш | 11.60 | 0.20 | 2.48 | 0.68 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 103.0 | 65.0 | кам.в порш | 11.76 | 0.20 | 2.33 | 0.42 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 154.0 | 66.5 | кам.в порш | 11.90 | 0.20 | 2.19 | 0.21 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -154.0 | 66.5 | кам.в порш | 11.92 | 0.20 | 2.17 | 0.15 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | -103.0 | 65.0 | кам.в порш | 11.85 | 0.20 | 2.24 | 0.33 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -51.4 | 63.5 | кам.в порш | 11.58 | 0.20 | 2.51 | 0.61 | 0.00 | 0.00 |

Сумма по всем струям % 100. | 76.06 2.18 15.93 5.84 0.00 0.00

Константы испарения би | 16605 3260 1910 1614 1404 41

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая
 на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое₁ (Надпорш. зазор, мм. 1.00) | Оптим.₁ Геометрическое - 1.87
 число Н₁ | Для КС в конце сжатия 1.73 | для КС₁ Уточн.Разлейцевым- 1.87

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13

Приложение Б

Характеристики двигателя на частоте вращения 3000 об/мин с двухклапанной ГБЦ.

2020-12-14 22-25-04 "4L9.1/9.5"

Режим: #2 : RPM=3000;

Назв.: "Alpha определяет qc"

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

| | | |
|---------|-----------|---|
| 3000.0 | - n | - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин] |
| 69.558 | - Ne | - Мощность, [кВт] |
| 11.233 | - Pe | - Среднее эффективное давление, [бар] |
| 221.43 | - Me | - Крутящий момент, [Нм] |
| 0.04148 | - qc | - Цикловая подача топлива, [г] |
| 0.21469 | - be | - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.22780 | - be_ISO | - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.39455 | - Eta_e | - Эффективный КПД |
| 13.412 | - Pi | - Среднее индикаторное давление, [бар] |
| 0.47108 | - Eta_i | - Индикаторный КПД |
| 9.5000 | - Sp | - Средняя скорость поршня, [м/с] |
| 1.7881 | - Pтр | - Давление трения, [бар] (Intern.Exp) |
| 0.86267 | - Eta_mех | - Механический КПД |

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

| | | |
|---------|----------|--|
| 1.0000 | - Po* | - Давление заторм. потока, [бар] |
| 288.00 | - To* | - Температура заторможенного потока, [K] |
| 1.0400 | - Po_т | - Статическое давление за турбиной, [бар] |
| 0.98000 | - Po_вх* | - Давление заторм. потока за фильтром, [бар] |

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

| | | |
|----------|------------|--|
| 1.4200 | - Pк | - Давление перед впускным коллектором, [бар] |
| 300.53 | - Tk | - Температура перед впускным коллектором, [K] |
| 0.09531 | - Gair | - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 0.48277 | - КПД_тк | - КПД агрегата наддува |
| 1.4640 | - Pt* | - Среднее давление перед турбиной, [бар] |
| 774.25 | - Tt* | - Средняя температура перед турбиной, [K] |
| 0.09873 | - Ggas | - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 1.5853 | - Alfa_sum | - Коэфф. избытка воздуха суммарный |
| -0.39071 | - Pнх | - Среднее давление насосных ходов, [бар] |
| 0.94346 | - Eta_v | - Коэффициент наполнения |
| 0.02486 | - Gamma_r | - Коэффициент остаточных газов |
| 0.99122 | - Fi | - Коэффициент продувки |
| 0.12834 | - G_збр.% | - % заброса О.Г. во впускной коллектор |
| 2.6354 | - G_утеч.% | - % утечек через поршневые кольца |

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

| | | |
|--------|-----------|---|
| 1.4021 | - Ps | - Среднее давление во впуск. коллект., [бар] |
| 302.71 | - Ts | - Средн. температ. во впуск. коллект., [K] |
| 22.979 | - Ws | - Средняя скорость воздуха, [м/с] |
| 305.71 | - Tws | - Средняя температура стенки вп. колл., [K] |
| 85.172 | - Alfa_ws | - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м ² *K)] |

337.46 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 239.25 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 6.8831 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.7 Dt= 37.1 Ds=11.1 Lv= 7.4 Lv_max= 10.7 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.4576 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 773.40 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 48.850 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 10.934 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 695.01 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 137.23 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 1144.9 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 539.51 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.1829 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.4 Dt= 37.8 Ds=11.0 Lv= 6.0 Lv_max= 10.6 мм

----- СГОРАНИЕ -----

1.6000 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 142.49 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1948.7 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 8.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 19.000 - Fi_tz - Угол максималн. температуры, [град. за ВМТ.]
 5.0233 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 4.5818 - Ring_Intn - Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 9408.8 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 1644.7 - P_впр.max - Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 1157.9 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 10.916 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 10.000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 15.673 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 4.4377 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 4.4
 5.5623 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.05702 - Sig_и_здр - Доля топлива, испаривш. за период задержки
 65.800 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 2.0; Phi_z 50%= 14.2; Phi_z 95%= 37.2
 1.7330 - H_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.65873 - H_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 14.226 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

12.977 - Hartridge- Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 1.3870 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.32483 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.26828 - PM - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 691.78 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 130.36 - NOx.в,ppm - Концентр. влажных NOx, [1/млн, (ppm)]
 0.70907 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 0.99555 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и PM
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.7243 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 362.19 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 94.460 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]

1052.4 - Tc - Температура конца сжатия, [K]
 6.2627 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 1086.0 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1176.7 - T_cp - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 525.00 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м²/K]
 561.43 - Tw_поршн - Средн. температура огневого днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_втулк - Средн. температ. огневой поверхн. втулки,[K]
 510.15 - Tw_крышк - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 389.46 - Tw_охл - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 11893. - Alf_w_охл- Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м²*K)] от
 стенки крышки цилиндра к охлажд. среде.
 2280.9 - q_крышки - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 2105.4 - q_поршня - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 1447.0 - q_цилинд - Тепловой поток во втулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.000 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_сопел - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_сопел - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 21.000 - Fi_впр.х - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 64.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 15.000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 10.000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 42.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

39576. - n_квд - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 4.7990 - N_квд - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_квд - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.09531 - G_квд - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 1.6504 - Gпр_квд - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.09560 - Gсог_квд - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 2332.0 - n.пр_квд - Частота вращения ротора КВД приведенная
 40257. - n.сог_квд- Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.5000 - П_квд - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_квд - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_квд - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_квд - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.4700 - Pк*"квд - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 338.10 - Tk*"квд - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Ecool_вд - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Tcool_вд - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.4200 - Pк*_квд - Давление наддува за КВД, [бар]
 300.53 - Tk*_квд - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

39576. - n_твд - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 4.7968 - N_твд - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_твд - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_твд - Механический КПД турбины ВД
 0.09873 - G_твд - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.01877 - Gпр_твд - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]

1422.3 - n.pr_твд - Частота вращения ротора ТВД приведенная,
 1.4072 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД
 7.0744 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.4640 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 774.25 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0404 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 727.45 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N_i угол в_i угол с_i поверхн. | доли топлива в характерных зонах %
 с_i плане | осью ц_i контакта | Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

| | | | | | | | | | |
|---|--------|------|------------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.0 | 63.5 | кам.в порш | 11.68 | 0.11 | 2.49 | 1.12 | 0.01 | 0.00 |
| 2 | 51.4 | 63.5 | кам.в порш | 11.73 | 0.10 | 2.45 | 1.01 | 0.01 | 0.00 |
| 3 | 103.0 | 65.0 | кам.в порш | 11.85 | 0.10 | 2.33 | 0.71 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 154.0 | 66.5 | кам.в порш | 12.00 | 0.10 | 2.18 | 0.43 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -154.0 | 66.5 | кам.в порш | 12.00 | 0.10 | 2.18 | 0.38 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | -103.0 | 65.0 | кам.в порш | 11.91 | 0.10 | 2.27 | 0.61 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -51.4 | 63.5 | кам.в порш | 11.73 | 0.10 | 2.45 | 0.95 | 0.01 | 0.00 |

Сумма по всем струям % 100. | 71.96 1.00 11.90 15.12 0.02 0.00

Константы испарения би | 44409 8355 5938 5017 4023 112

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая
 на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое_i (Надпорш. зазор, мм. 1.00) | Оптим. | Геометрическое - 3.28
 число Н_i | Для КС в конце сжатия 1.73 | для КС | Уточн. Разлейцевым - 3.10

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13

Приложение В

Характеристики двигателя на частоте вращения 2000 об/мин (режим максимального крутящего момента) с двухклапанной ГБЦ.

2020-12-14 22-26-18 "4L9.1/9.5"

Режим: #3 : RPM=2000 Макс. крутящего момента;

Назв.: "Alpha определяет qc"

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

| | | |
|---------|-----------|---|
| 2000.0 | - n | - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин] |
| 48.917 | - Ne | - Мощность, [кВт] |
| 11.850 | - Pe | - Среднее эффективное давление, [бар] |
| 233.58 | - Me | - Крутящий момент, [Нм] |
| 0.04375 | - qc | - Цикловая подача топлива, [г] |
| 0.21467 | - be | - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.22753 | - be_ISO | - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.39459 | - Eta_e | - Эффективный КПД |
| 13.523 | - Pi | - Среднее индикаторное давление, [бар] |
| 0.45032 | - Eta_i | - Индикаторный КПД |
| 6.3333 | - Sp | - Средняя скорость поршня, [м/с] |
| 1.5200 | - Pтр | - Давление трения, [бар] (Intern.Exp) |
| 0.88631 | - Eta_mех | - Механический КПД |

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

| | | |
|---------|----------|--|
| 1.0000 | - Po* | - Давление заторм. потока, [бар] |
| 288.00 | - To* | - Температура заторможенного потока, [K] |
| 1.0400 | - Po_т | - Статическое давление за турбиной, [бар] |
| 0.98000 | - Po_вх* | - Давление заторм. потока за фильтром, [бар] |

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

| | | |
|----------|------------|--|
| 1.4200 | - Pк | - Давление перед впускным коллектором, [бар] |
| 300.53 | - Tk | - Температура перед впускным коллектором, [K] |
| 0.06293 | - Gair | - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 0.48374 | - КПД_тк | - КПД агрегата наддува |
| 1.4722 | - Pt* | - Среднее давление перед турбиной, [бар] |
| 774.17 | - Tt* | - Средняя температура перед турбиной, [K] |
| 0.06407 | - Ggas | - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 1.4887 | - Alfa_sum | - Коэфф. избытка воздуха суммарный |
| -0.15369 | - Pнх | - Среднее давление насосных ходов, [бар] |
| 0.93343 | - Eta_v | - Коэффициент наполнения |
| 0.02726 | - Gamma_r | - Коэффициент остаточных газов |
| 0.99239 | - Fi | - Коэффициент продувки |
| 0.24084 | - G_зabr.% | - % заброса О.Г. во впускной коллектор |
| 3.9483 | - G_утеч.% | - % утечек через поршневые кольца |

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

| | | |
|--------|-----------|---|
| 1.4129 | - Ps | - Среднее давление во впуск. коллект., [бар] |
| 302.89 | - Ts | - Средн. температ. во впуск. коллект., [K] |
| 15.074 | - Ws | - Средняя скорость воздуха, [м/с] |
| 305.89 | - Tws | - Средняя температура стенки вп. колл., [K] |
| 84.551 | - Alfa_ws | - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м ² *K)] |

235.07 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 173.76 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 6.8831 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.7 Dt= 37.1 Ds=11.1 Lv= 7.4 Lv_max= 10.7 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.4696 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 773.83 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 31.184 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 16.406 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 688.97 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 103.54 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 863.80 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 457.53 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.1829 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.4 Dt= 37.8 Ds=11.0 Lv= 6.0 Lv_max= 10.6 мм

----- СГОРАНИЕ -----

1.5000 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 144.81 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1989.1 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 8.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 18.000 - Fi_tz - Угол максим. температуры, [град. за ВМТ.]
 5.4223 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 2.3589 - Ring_Intn - Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 9561.6 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 772.65 - P_впр.max - Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 557.96 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 13.311 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 10.000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 15.904 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 4.8825 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 4.9
 5.1175 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.07052 - Sig_и_здр - Доля топлива, испаривш. за период задержки
 65.200 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 1.6; Phi_z 50%= 13.2; Phi_z 95%= 36.0
 1.7330 - H_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.62932 - H_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 9.4841 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

17.404 - Hartridge - Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 1.7754 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.45012 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.34253 - РМ - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 691.72 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 27.703 - NOx.в,ppm - Концентр. влажных NOx, [1/млн, (ppm)]
 0.14168 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 1.1620 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и РМ
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.6631 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 352.27 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 90.909 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]

1025.7 - Tc - Температура конца сжатия, [K]
 6.1434 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 1089.5 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1246.0 - T_cp - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 425.32 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м²/K]
 547.48 - Tw_поршн - Средн. температура огневой днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_втулк - Средн. температ. огневой поверхн. втулки,[K]
 497.70 - Tw_крышк - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 387.59 - Tw_охл - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 11411. - Alf_w_охл- Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м²*K)] от
 стенки крышки цилиндра к охладж. среде.
 2074.6 - q_крышки - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 1936.6 - q_поршня - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 1066.9 - q_цилинд - Тепловой поток во втулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.000 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_сопел - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_сопел - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 21.000 - Fi_впр.х - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 64.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 15.000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 10.000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 42.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

26384. - n_квд - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 3.1690 - N_квд - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_квд - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.06293 - G_квд - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 1.0898 - Gпр_квд - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.06313 - Gсог_квд - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 1554.7 - n.пр_квд - Частота вращения ротора КВД приведенная
 26838. - n.сог_квд- Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.5000 - П_квд - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_квд - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_квд - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_квд - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.4700 - Pк*"квд - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 338.10 - Tk*"квд - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Ecool_вд - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Tcool_вд - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.4200 - Pк*_квд - Давление наддува за КВД, [бар]
 300.53 - Tk*_квд - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

26384. - n_твд - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 3.1693 - N_твд - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_твд - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_твд - Механический КПД турбины ВД
 0.06407 - G_твд - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.01211 - Gпр_твд - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]

948.25 - n.pr_твд - Частота вращения ротора ТВД приведенная,
 1.4164 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД
 7.2036 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.4722 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 774.17 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0394 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 726.51 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N₁ угол в₁ угол с₁ поверхн. | доли топлива в характерных зонах %
 с₁ плане | осью ц₁ контакта | Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

| | | | | | | | | | |
|---|--------|------|------------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.0 | 63.5 | кам.в порш | 11.12 | 0.33 | 2.83 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 51.4 | 63.5 | кам.в порш | 11.12 | 0.33 | 2.83 | 0.44 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 103.0 | 65.0 | кам.в порш | 11.30 | 0.33 | 2.66 | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 154.0 | 66.5 | кам.в порш | 11.42 | 0.32 | 2.54 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -154.0 | 66.5 | кам.в порш | 11.43 | 0.32 | 2.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | -103.0 | 65.0 | кам.в порш | 11.35 | 0.32 | 2.61 | 0.12 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -51.4 | 63.5 | кам.в порш | 11.20 | 0.33 | 2.76 | 0.38 | 0.00 | 0.00 |

Сумма по всем струям % 100. | 76.11 2.29 17.11 4.49 0.00 0.00

Константы испарения би | 36212 6253 4466 3774 3215 93

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое₁ (Надпорш. зазор, мм. 1.00) | Оптим.₁ Геометрическое - 3.23
 число Н₁ | Для КС в конце сжатия 1.73 | для КС₁ Уточн.Разлейцевым- 3.07

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13

Приложение Г

Характеристики двигателя на частоте вращения 1000 об/мин с двухклапанной ГБЦ.

2020-12-14 22-33-05 "4L9.1/9.5"

Режим: #4 : RPM=1000;

Назв.: "Alpha определяет qc"

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

1000.0 - n - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин]
12.647 - Ne - Мощность, [кВт]
6.1272 - Pe - Среднее эффективное давление, [бар]
120.78 - Me - Крутящий момент, [Нм]
0.02727 - qc - Цикловая подача топлива, [г]
0.25878 - be - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)]
0.27382 - be_ISO - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)]
0.32733 - Eta_e - Эффективный КПД
7.3178 - Pi - Среднее индикаторное давление, [бар]
0.39094 - Eta_i - Индикаторный КПД
3.1667 - Sp - Средняя скорость поршня, [м/с]
1.0067 - Ptp - Давление трения, [бар] (Intern.Exp)
0.85889 - Eta_mex - Механический КПД

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

1.0000 - Po* - Давление заторм. потока, [бар]
288.00 - To* - Температура заторможенного потока, [K]
1.0400 - Po_T - Статическое давление за турбиной, [бар]
0.98000 - Po_vx* - Давление заторм. потока за фильтром, [бар]

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

1.1750 - Pk - Давление перед впускным коллектором, [бар]
294.71 - Tk - Температура перед впускным коллектором, [K]
0.02594 - Gair - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с]
0.48387 - КПД_тк - КПД агрегата наддува
1.3516 - Pt* - Среднее давление перед турбиной, [бар]
579.02 - Tt* - Средняя температура перед турбиной, [K]
0.02483 - Ggas - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с]
1.9688 - Alfa_sum - Коэфф. избытка воздуха суммарный
-0.18401 - Pnx - Среднее давление насосных ходов, [бар]
0.91936 - Eta_v - Коэффициент наполнения
0.04026 - Gamma_r - Коэффициент остаточных газов
0.98438 - Fi - Коэффициент продувки
0.81382 - G_збр.% - % заброса О.Г. во впускной коллектор
7.5656 - G_утеч.% - % утечек через поршневые кольца

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.1737 - Ps - Среднее давление во впуск. коллект., [бар]
298.72 - Ts - Средн. температ. во впуск. коллект., [K]
7.3777 - Ws - Средняя скорость воздуха, [м/с]
301.73 - Tws - Средняя температура стенки вп. колл., [K]
74.322 - Alfa_ws - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м²*K)]

131.93 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 82.441 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 6.8831 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.7 Dt= 37.1 Ds=11.1 Lv= 7.4 Lv_max= 10.7 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.3514 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 578.99 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 9.8163 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 28.382 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 528.17 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 90.000 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 447.65 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 189.38 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.1829 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=1 Dv= 42.4 Dt= 37.8 Ds=11.0 Lv= 6.0 Lv_max= 10.6 мм

----- СГОРАНИЕ -----

2.0000 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 121.16 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1839.0 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 6.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 12.000 - Fi_tz - Угол максималн. температуры, [град. за ВМТ.]
 5.2090 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 0.62545 - Ring_Intn- Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 8000.1 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 168.84 - P_впр.max- Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 135.65 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 24.565 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 10.000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 14.234 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 3.7223 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 3.7
 6.2777 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.02968 - Sig_и_здр- Доля топлива, испаривш. за период задержки
 38.000 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 1.4; Phi_z 50%= 9.6; Phi_z 95%= 23.4
 1.7330 - Н_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.61547 - Н_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 4.7421 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

9.9180 - Hartridge- Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 1.0806 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.24405 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.26897 - РМ - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 833.83 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 1837.8 - NOx.в,ppm- Концентр. влажных NOx, [1/млн, (ppm)]
 14.791 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 3.0096 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и РМ
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.3348 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 339.22 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 71.672 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]

982.60 - Tc - Температура конца сжатия, [K]
 3.5380 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 795.78 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1192.6 - T_cr - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 249.83 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м2/К]
 488.98 - Tw_поршн - Средн. температура огневого днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_втулк - Средн. температ. огневой поверхн. втулки,[K]
 444.52 - Tw_крышк - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 379.59 - Tw_охл - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 9322.9 - Alf_w_охл- Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м2*К)] от
 стенки крышки цилиндра к охладж. среде.
 1218.2 - q_крышки - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 1145.8 - q_поршня - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 301.13 - q_цилинд - Тепловой поток во втулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.000 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_сопел - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_сопел - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 21.000 - Fi_впр.х - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 64.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 15.000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 10.000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 42.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

11665. - n_квд - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 0.70010 - N_квд - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_квд - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.02594 - G_квд - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 0.44921 - Gпр_квд - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.02602 - Gсог_квд - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 687.39 - n.пр_квд - Частота вращения ротора КВД приведенная
 11866. - n.сог_квд- Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.2500 - П_квд - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_квд - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_квд - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_квд - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.2250 - Pк*"квд - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 314.85 - Tk*"квд - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Ecool_вд - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Tcool_вд - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.1750 - Pк*_квд - Давление наддува за КВД, [бар]
 294.71 - Tk*_квд - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

11665. - n_твд - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 0.70025 - N_твд - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_твд - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_твд - Механический КПД турбины ВД
 0.02483 - G_твд - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.00442 - Gпр_твд - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]

484.78 - n.pr_твд - Частота вращения ротора ТВД приведенная,
 1.3003 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД
 5.4918 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.3516 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 579.02 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0394 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 551.92 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N₁ угол в₁ угол с₁ поверхн. | доли топлива в характерных зонах %
 с₁ плане | осью ц₁ контакта | Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

| | | | | | | | | | |
|---|--------|------|------------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.0 | 63.5 | кам.в порш | 10.45 | 1.15 | 2.69 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 51.4 | 63.5 | кам.в порш | 10.41 | 1.14 | 2.73 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 103.0 | 65.0 | кам.в порш | 10.80 | 1.14 | 2.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 154.0 | 66.5 | кам.в порш | 11.00 | 1.13 | 2.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -154.0 | 66.5 | кам.в порш | 11.04 | 1.13 | 2.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | -103.0 | 65.0 | кам.в порш | 10.83 | 1.13 | 2.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -51.4 | 63.5 | кам.в порш | 10.55 | 1.14 | 2.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Сумма по всем струям % 100. | 71.41 12.87 15.72 0.00 0.00 0.00

Константы испарения би | 5669 819 513 433 442 15

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая
 на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое₁ (Надпорш. зазор, мм. 1.00) | Оптим.₁ Геометрическое - 3.61
 число Н₁ | Для КС в конце сжатия 1.73 | для КС₁ Уточн.Разлейцевым- 3.29

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13

Приложение Д

Характеристики двигателя на номинальной частоте вращения 4000 об/мин с четырехклапанной ГБЦ после всех улучшений.

2020-12-24 19-01-31 "4L9.1/9.5"

Режим: #1 : n=4000 об/мин;

Назв.: режим, n=4000, уовт=13, степень сжатия=21.24

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

4000.0 - n - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин]
72.907 - Ne - Мощность, [кВт]
8.8303 - Pe - Среднее эффективное давление, [бар]
174.06 - Me - Крутящий момент, [Нм]
0.03452 - qc - Цикловая подача топлива, [г]
0.22727 - be - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)]
0.24167 - be_ISO - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)]
0.37271 - Eta_e - Эффективный КПД
11.630 - Pi - Среднее индикаторное давление, [бар]
0.49087 - Eta_i - Индикаторный КПД
12.667 - Sp - Средняя скорость поршня, [м/с]
2.0767 - Ptp - Давление трения, [бар] (Intern.Expr)
0.80960 - Eta_mex - Механический КПД

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

1.0000 - Po* - Давление заторм. потока, [бар]
288.00 - To* - Температура заторможенного потока, [K]
1.0400 - Po_T - Статическое давление за турбиной, [бар]
0.98000 - Po_vx* - Давление заторм. потока за фильтром, [бар]

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

1.6650 - Pk - Давление перед впускным коллектором, [бар]
305.68 - Tk - Температура перед впускным коллектором, [K]
0.13328 - Gair - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с]
0.48392 - КПД_тк - КПД агрегата наддува
1.7739 - Pt* - Среднее давление перед турбиной, [бар]
721.78 - Tt* - Средняя температура перед турбиной, [K]
0.13673 - Ggas - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с]
1.9979 - Alfa_sum - Коэфф. избытка воздуха суммарный
-0.72294 - Pnh - Среднее давление насосных ходов, [бар]
0.87113 - Eta_v - Коэффициент наполнения
0.04602 - Gamma_r - Коэффициент остаточных газов
0.97660 - Fi - Коэффициент продувки
1.0261 - G_збр.% - % заброса О.Г. во впускной коллектор
2.0156 - G_утеч.% - % утечек через поршневые кольца

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.6326 - Ps - Среднее давление во впуск. коллект., [бар]
312.22 - Ts - Средн. температ. во впуск. коллект., [K]
28.425 - Ws - Средняя скорость воздуха, [м/с]
315.22 - Tws - Средняя температура стенки вп. колл., [K]
86.254 - Alfa_ws - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м²*K)]

424.64 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 183.65 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 35.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 6.2 Lv_max= 8.8 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.7648 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 720.83 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 52.022 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 7.0001 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 653.37 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 145.18 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 1211.2 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 332.85 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 31.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 5.7 Lv_max= 7.8 мм

----- СГОРАНИЕ -----

2.0454 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 140.90 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1780.8 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 5.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 23.000 - Fi_tz - Угол максималн. температуры, [град. за ВМТ.]
 5.3997 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 9.0991 - Ring_Intn - Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 9303.7 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 660.48 - P_впр.max - Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 475.51 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 13.778 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 13.000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 27.263 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 4.9785 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 5.0
 8.0215 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.01179 - Sig_и_здр - Доля топлива, испаривш. за период задержки
 48.200 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 3.0; Phi_z 50%= 18.4; Phi_z 95%= 34.0
 1.7330 - H_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.71365 - H_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 18.968 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

1.4112 - Hartridge- Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 0.15456 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.03360 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.02321 - PM - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 732.32 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 5.6511 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 0.88468 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и PM
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.7348 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 360.45 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 104.74 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]
 1073.5 - Tc - Температура конца сжатия, [К]

4.9631 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 919.92 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1044.0 - T_cr - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 635.16 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м2/К]
 556.87 - Tw_поршн - Средн. температура огневого днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_штулк - Средн. температ. огневой поверхн. штулки,[K]
 506.14 - Tw_крышк - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 388.71 - Tw_охл - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 12074. - Alf_w_охл- Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м2*К)] от
 стенки крышки цилиндра к охладж. среде.
 2226.6 - q_крышки - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 2016.6 - q_поршня - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 1511.1 - q_цилинд - Тепловой поток во штулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.240 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_сопел - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_сопел - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 30.000 - Fi_впр.х - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 46.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 27.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

58695. - n_квд - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 9.4733 - N_квд - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_квд - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.13328 - G_квд - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 2.3079 - Gпр_квд - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.13369 - Gсог_квд - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 3458.7 - n.пр_квд - Частота вращения ротора КВД приведенная
 59706. - n.сог_квд- Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.7500 - П_квд - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_квд - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_квд - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_квд - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.7150 - Pк*"квд - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 358.73 - Tk*"квд - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Ecool_вд - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Tcool_вд - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.6650 - Pк*_квд - Давление наддува за КВД, [бар]
 305.68 - Tk*_квд - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

58695. - n_твд - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 9.4564 - N_твд - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_твд - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_твд - Механический КПД турбины ВД
 0.13673 - G_твд - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.02071 - Gпр_твд - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]
 2184.7 - n.пр_твд - Частота вращения ротора ТВД приведенная,
 1.7057 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД

10.803 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.7739 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 721.78 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0400 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 654.75 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N₁ угол в₁ угол с₁ поверхн. ₁ доли топлива в характерных зонах %
 с₁ плане ₁ осью ц₁ контакта ₁ Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

1₁ 0.0 ₁ 70.0 ₁ кам.в порш₁ 84.51 1.34 14.14 0.00 0.00 0.00

Сумма по всем струям % 100. ₁ 83.23 1.76 15.01 0.00 0.00 0.00

Константы испарения би ₁ 15323 2889 1980 1673 1366 38

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая
 на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое₁ (Надпорш. зазор, мм. 1.00) ₁ Оптим.₁ Геометрическое - 1.89
 число Н ₁ Для КС в конце сжатия 1.73 ₁ для КС₁ Уточн.Разлейцевым- 1.89

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13

Приложение Е

Характеристики двигателя на частоте вращения 3000 об/мин с четырёхклапанной ГБЦ после всех улучшений.

2020-12-24 19-03-33 "4L9.1/9.5"

Режим: #2 : n=3000 об/мин;

Назв.: режим, n=3000, уовт=9, степень сжатия=21.24

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

| | | |
|---------|-----------|---|
| 3000.0 | - n | - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин] |
| 70.037 | - Ne | - Мощность, [кВт] |
| 11.310 | - Pe | - Среднее эффективное давление, [бар] |
| 222.95 | - Me | - Крутящий момент, [Нм] |
| 0.04141 | - qc | - Цикловая подача топлива, [г] |
| 0.21285 | - be | - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.22585 | - be_ISO | - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.39796 | - Eta_e | - Эффективный КПД |
| 13.463 | - Pi | - Среднее индикаторное давление, [бар] |
| 0.47369 | - Eta_i | - Индикаторный КПД |
| 9.5000 | - Sp | - Средняя скорость поршня, [м/с] |
| 1.7924 | - Pтр | - Давление трения, [бар] (Intern.Exp) |
| 0.86320 | - Eta_mех | - Механический КПД |

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

| | | |
|---------|----------|--|
| 1.0000 | - Po* | - Давление заторм. потока, [бар] |
| 288.00 | - To* | - Температура заторможенного потока, [K] |
| 1.0400 | - Po_т | - Статическое давление за турбиной, [бар] |
| 0.98000 | - Po_вх* | - Давление заторм. потока за фильтром, [бар] |

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

| | | |
|----------|------------|--|
| 1.4200 | - Pк | - Давление перед впускным коллектором, [бар] |
| 300.53 | - Tk | - Температура перед впускным коллектором, [K] |
| 0.09503 | - Gair | - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 0.48511 | - КПД_тк | - КПД агрегата наддува |
| 1.4599 | - Pt* | - Среднее давление перед турбиной, [бар] |
| 775.77 | - Tt* | - Средняя температура перед турбиной, [K] |
| 0.09856 | - Ggas | - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 1.5834 | - Alfa_sum | - Коэфф. избытка воздуха суммарный |
| -0.35993 | - Pнх | - Среднее давление насосных ходов, [бар] |
| 0.94257 | - Eta_v | - Коэффициент наполнения |
| 0.02944 | - Gamma_r | - Коэффициент остаточных газов |
| 0.98924 | - Fi | - Коэффициент продувки |
| 0.36282 | - G_збр.% | - % заброса О.Г. во впускной коллектор |
| 2.6661 | - G_утеч.% | - % утечек через поршневые кольца |

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

| | | |
|--------|-----------|---|
| 1.3976 | - Ps | - Среднее давление во впуск. коллект., [бар] |
| 303.85 | - Ts | - Средн. температ. во впуск. коллект., [K] |
| 23.064 | - Ws | - Средняя скорость воздуха, [м/с] |
| 306.85 | - Tws | - Средняя температура стенки вп. колл., [K] |
| 84.664 | - Alfa_ws | - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м ² *K)] |

350.08 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 127.92 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 35.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 6.2 Lv_max= 8.8 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.4535 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 774.93 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 48.937 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 9.6773 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 696.85 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 137.24 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 1144.9 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 339.42 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 31.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 5.7 Lv_max= 7.8 мм

----- СГОРАНИЕ -----

1.6005 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 140.49 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1939.9 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 8.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 20.000 - Fi_tz - Угол максимальн. температуры, [град. за ВМТ.]
 4.5657 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 3.8303 - Ring_Intn - Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 9276.6 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 1639.3 - P_впр.max - Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 1153.4 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 10.870 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 9.0000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 15.666 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 4.1660 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 4.2
 4.8340 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.04403 - Sig_и_здр - Доля топлива, испаривш. за период задержки
 63.400 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 2.2; Phi_z 50%= 14.4; Phi_z 95%= 36.4
 1.7330 - H_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.66165 - H_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 14.226 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

12.931 - Hartridge- Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 1.3829 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.32351 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.26495 - PM - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 685.86 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 0.60487 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 0.96958 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и PM
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.5830 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 352.06 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 95.772 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]
 1053.0 - Tc - Температура конца сжатия, [К]

5.2910 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 1035.8 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1170.6 - T_cp - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 518.22 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м2/К]
 558.37 - Tw_поршн - Средн. температура огневого днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_втулк - Средн. температ. огневой поверхн. втулки,[K]
 507.51 - Tw_крышк - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 389.13 - Tw_охл - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 11867. - Alf_w_охл- Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м2*К)] от
 стенки крышки цилиндра к охладж. среде.
 2239.9 - q_крышки - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 2068.0 - q_поршня - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 1427.7 - q_цилинд - Тепловой поток во втулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.240 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_сопел - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_сопел - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 21.000 - Fi_впр.х - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 46.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 27.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

39576. - n_квд - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 4.7851 - N_квд - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_квд - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.09503 - G_квд - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 1.6456 - Gпр_квд - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.09533 - Gсог_квд - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 2332.0 - n.пр_квд - Частота вращения ротора КВД приведенная
 40257. - n.сог_квд- Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.5000 - П_квд - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_квд - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_квд - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_квд - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.4700 - Рк*"квд - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 338.10 - Тк*"квд - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Есool_вд - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Тсool_вд - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.4200 - Рк*_квд - Давление наддува за КВД, [бар]
 300.53 - Тк*_квд - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

39576. - n_твд - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 4.7814 - N_твд - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_твд - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_твд - Механический КПД турбины ВД
 0.09856 - G_твд - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.01880 - Gпр_твд - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]
 1420.9 - n.пр_твд - Частота вращения ротора ТВД приведенная,

1.4055 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД
 7.0501 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.4599 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 775.77 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0387 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 729.04 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N₁ угол в₁ угол с₁ поверхн. ₁ доли топлива в характерных зонах %
 с₁ плане ₁ осью ц₁ контакта ₁ Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

1₁ 0.0 ₁ 70.0 ₁ кам.в порш₁ 83.22 0.56 16.21 3.53 0.00 0.00

Сумма по всем струям % 100.₁ 75.82 0.91 13.32 9.96 0.00 0.00

Константы испарения би ₁ 42276 8073 5505 4651 3773 106

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая
 на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое₁ (Надпорш. зазор, мм. 1.00) ₁ Оптим.₁ Геометрическое - 3.28
 число Н ₁ Для КС в конце сжатия 1.73 ₁ для КС₁ Уточн.Разлейцевым- 3.11

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13

Приложение Ж

Характеристики двигателя на частоте вращения 2000 об/мин (режим максимальной мощности) с четырехклапанной ГБЦ после всех улучшений.

2020-12-26 18-18-01 "4L9.1/9.5"

Режим: #3 : n=2000 об/мин;

Назв.: режим, n=2000, уовт=5.5, степень сжатия=21.24

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

2000.0 - n - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин]
49.055 - Ne - Мощность, [кВт]
11.883 - Pe - Среднее эффективное давление, [бар]
234.24 - Me - Крутящий момент, [Нм]
0.04320 - qc - Цикловая подача топлива, [г]
0.21136 - be - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)]
0.22399 - be_ISO - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)]
0.40077 - Eta_e - Эффективный КПД
13.522 - Pi - Среднее индикаторное давление, [бар]
0.45605 - Eta_i - Индикаторный КПД
6.3333 - Sp - Средняя скорость поршня, [м/с]
1.4913 - Ptp - Давление трения, [бар] (Intern.Exp)
0.88849 - Eta_mex - Механический КПД

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

1.0000 - Po* - Давление заторм. потока, [бар]
288.00 - To* - Температура заторможенного потока, [K]
1.0400 - Po_T - Статическое давление за турбиной, [бар]
0.98000 - Po_vx* - Давление заторм. потока за фильтром, [бар]

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

1.4200 - Pk - Давление перед впускным коллектором, [бар]
300.53 - Tk - Температура перед впускным коллектором, [K]
0.06385 - Gair - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с]
0.48468 - КПД_тк - КПД агрегата наддува
1.4697 - Pt* - Среднее давление перед турбиной, [бар]
776.25 - Tt* - Средняя температура перед турбиной, [K]
0.06500 - Ggas - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с]
1.5298 - Alfa_sum - Коэфф. избытка воздуха суммарный
-0.14765 - Pnh - Среднее давление насосных ходов, [бар]
0.94685 - Eta_v - Коэффициент наполнения
0.02517 - Gamma_r - Коэффициент остаточных газов
0.99257 - Fi - Коэффициент продувки
0.17884 - G_забр.% - % заброса О.Г. во впускной коллектор
3.8834 - G_утеч.% - % утечек через поршневые кольца

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.4119 - Ps - Среднее давление во впуск. коллект., [бар]
302.27 - Ts - Средн. температ. во впуск. коллект., [K]
15.271 - Ws - Средняя скорость воздуха, [м/с]
305.28 - Tws - Средняя температура стенки вп. колл., [K]
85.542 - Alfa_ws - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м²*K)]

243.98 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 87.433 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 35.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 6.2 Lv_max= 8.8 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.4670 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 775.89 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 31.907 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 14.525 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 691.17 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 104.66 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 873.16 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 276.21 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 31.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 5.7 Lv_max= 7.8 мм

----- СГОРАНИЕ -----

1.5411 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 128.99 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1931.7 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 6.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 23.000 - Fi_tz - Угол максималн. температуры, [град. за ВМТ.]
 3.8003 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 1.2819 - Ring_Intn - Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 8517.1 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 757.92 - P_впр.max - Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 545.43 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 13.299 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 5.4000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 15.848 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 4.4464 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 4.4
 0.95359 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.05463 - Sig_и_здр - Доля топлива, испаривш. за период задержки
 60.000 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 1.6; Phi_z 50%= 13.0; Phi_z 95%= 34.0
 1.7330 - H_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.63250 - H_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 9.4841 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

15.972 - Hartridge - Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 1.6497 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.40958 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.31439 - PM - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 681.03 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 0.14886 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 1.0692 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и PM
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.5367 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 340.86 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 92.764 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]
 1021.7 - Tc - Температура конца сжатия, [К]

5.3244 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 1056.2 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1173.1 - T_{cp} - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 392.83 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м²/K]
 526.65 - Tw_{поршн} - Средн. температура огневого днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_{втулк} - Средн. температ. огневой поверхн. втулки,[K]
 478.75 - Tw_{крышк} - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 385.33 - Tw_{охл} - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 11064. - Alf_{w_охл} - Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м²*K)] от
 стенки крышки цилиндра к охладж. среде.
 1777.9 - q_{крышки} - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 1655.2 - q_{поршня} - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 1084.0 - q_{цилинд} - Тепловой поток во втулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.240 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_{сопел} - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_{сопел} - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 21.000 - Fi_{впр.х} - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 46.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 27.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

26384. - n_{квд} - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 3.2152 - N_{квд} - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_{квд} - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.06385 - G_{квд} - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 1.1057 - Gпр_{квд} - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.06405 - Gсог_{квд} - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 1554.7 - n.пр_{квд} - Частота вращения ротора КВД приведенная
 26838. - n.сог_{квд} - Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.5000 - П_{квд} - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_{квд} - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_{квд} - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_{квд} - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.4700 - Pк*_{квд} - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 338.10 - Tk*_{квд} - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Ecool_{вд} - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Tcool_{вд} - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.4200 - Pк*_{квд} - Давление наддува за КВД, [бар]
 300.53 - Tk*_{квд} - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

26384. - n_{твд} - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 3.2149 - N_{твд} - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_{твд} - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_{твд} - Механический КПД турбины ВД
 0.06500 - G_{твд} - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.01232 - Gпр_{твд} - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]
 946.97 - n.пр_{твд} - Частота вращения ротора ТВД приведенная,

1.4149 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД
 7.1828 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.4697 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 776.25 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0388 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 728.60 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N₁ угол в₁ угол с₁ поверхн. ₁ доли топлива в характерных зонах %
 с₁ плане ₁ осью ц₁ контакта ₁ Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

1₁ 0.0 ₁ 70.0 ₁ кам.в порш₁ 79.65 2.31 18.04 0.00 0.00 0.00

Сумма по всем струям % 100.₁ 79.64 2.31 18.04 0.00 0.00 0.00

Константы испарения би ₁ 33859 6028 3535 2987 2802 86

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая
 на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое₁ (Надпорш. зазор, мм. 1.00) ₁ Оптим.₁ Геометрическое - 3.25
 число Н ₁ Для КС в конце сжатия 1.73 ₁ для КС₁ Уточн.Разлейцевым- 3.08

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13

Приложение 3

Характеристики двигателя на частоте вращения 1000 об/мин с четырёхклапанной ГБЦ после всех улучшений.

2020-12-24 19-08-18 "4L9.1/9.5"

Режим: #4 : n=1000 об/мин;

Назв.: режим, n=1000, уовт=6, степень сжатия=21.24

www.diesel-rk.bmstu.ru

Топливо: Diesel No. 2

----- МОЩНОСТНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

| | | |
|---------|-----------|---|
| 1000.0 | - n | - Частота вращения коленчатого вала, [1/мин] |
| 13.841 | - Ne | - Мощность, [кВт] |
| 6.7058 | - Pe | - Среднее эффективное давление, [бар] |
| 132.19 | - Me | - Крутящий момент, [Нм] |
| 0.02788 | - qc | - Цикловая подача топлива, [г] |
| 0.24171 | - be | - Удельный эффект. расход топлива, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.25576 | - be_ISO | - Удельный эффект. расх. топлива по ISO, [кг/(кВт*ч)] |
| 0.35044 | - Eta_e | - Эффективный КПД |
| 7.8810 | - Pi | - Среднее индикаторное давление, [бар] |
| 0.41186 | - Eta_i | - Индикаторный КПД |
| 3.1667 | - Sp | - Средняя скорость поршня, [м/с] |
| 1.0049 | - Pтр | - Давление трения, [бар] (Intern.Exp) |
| 0.86967 | - Eta_mех | - Механический КПД |

----- ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ -----

| | | |
|---------|----------|--|
| 1.0000 | - Po* | - Давление заторм. потока, [бар] |
| 288.00 | - To* | - Температура заторможенного потока, [K] |
| 1.0400 | - Po_т | - Статическое давление за турбиной, [бар] |
| 0.98000 | - Po_вх* | - Давление заторм. потока за фильтром, [бар] |

----- НАДДУВ И ГАЗООБМЕН -----

| | | |
|----------|------------|--|
| 1.1750 | - Pк | - Давление перед впускным коллектором, [бар] |
| 294.71 | - Tk | - Температура перед впускным коллектором, [K] |
| 0.02670 | - Gair | - Расход воздуха (+EGR) через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 0.48011 | - КПД_тк | - КПД агрегата наддува |
| 1.3456 | - Pt* | - Среднее давление перед турбиной, [бар] |
| 592.23 | - Tt* | - Средняя температура перед турбиной, [K] |
| 0.02560 | - Ggas | - Расход О.Г. через цилиндры двиг., [кг/с] |
| 1.9820 | - Alfa_sum | - Коэфф. избытка воздуха суммарный |
| -0.17029 | - Pнх | - Среднее давление насосных ходов, [бар] |
| 0.94251 | - Eta_v | - Коэффициент наполнения |
| 0.03202 | - Gamma_r | - Коэффициент остаточных газов |
| 0.98814 | - Fi | - Коэффициент продувки |
| 0.46663 | - G_збр.% | - % заброса О.Г. во впускной коллектор |
| 7.4403 | - G_утеч.% | - % утечек через поршневые кольца |

----- ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

| | | |
|--------|-----------|---|
| 1.1734 | - Ps | - Среднее давление во впуск. коллект., [бар] |
| 297.27 | - Ts | - Средн. температ. во впуск. коллект., [K] |
| 7.5562 | - Ws | - Средняя скорость воздуха, [м/с] |
| 300.27 | - Tws | - Средняя температура стенки вп. колл., [K] |
| 76.134 | - Alfa_ws | - Коэфф. теплоотдачи во вп. колл., [Вт/(м ² *K)] |

137.58 - Alfa_wsc - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 42.045 - v_sc.max - Мах скорость в среднем сечении вп.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 35.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 6.2 Lv_max= 8.8 мм

----- ВЫПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР -----

1.3453 - Pr - Среднее статическое давление О.Г., [бар]
 592.20 - Tr - Средняя статическая температура О.Г., [К]
 10.456 - Wr - Средняя скорость газа, [м/с]
 25.379 - Sh - Число Струхала: $Sh=a*\tau/L$ (д.б. $Sh > 8$)
 539.01 - Twr - Средняя температура стенки вып. колл., [К]
 90.000 - Alfa_wr - Коэфф. теплоотдачи в вып. колл., [Вт/(м²*К)]
 460.46 - Alfa_wcr - Коэфф. теплоотд. в клап.канале, [Вт/(м²*К)]
 112.43 - v_cr.max - Мах скорость в средн. сечении вып.канала, [м/с]
 7.9465 - MF_горла - Сумм. эфф. сечение горла клап. каналов, [см²]
 Оцен. разм. клап.: Кол=2 Dv= 31.0 Dt= 27.0 Ds= 6.0 Lv= 5.7 Lv_max= 7.8 мм

----- СГОРАНИЕ -----

2.0059 - Alfa - Коэффициент избытка воздуха при сгорании
 111.31 - Pz - Максимальное давление цикла, [бар]
 1800.9 - Tz - Максимальная температура цикла, [К]
 8.0000 - Fi_pz - Угол максимального давления, [град. за ВМТ.]
 16.000 - Fi_tz - Угол максималн. температуры, [град. за ВМТ.]
 3.1045 - dP/dFi - Макс. скор. нарастания давл., [бар/град]
 0.23931 - Ring_Intn- Интенс. детонации / звук. воздейств., [МВт/м²]
 7349.6 - F_max - Макс. усилие на поршне от газовых сил, [кг]
 Впрыск: Custom Fuel Injection System
 173.02 - P_впр.max- Макс. давление перед соплами распылит., [бар]
 140.87 - P_впр.ср - Среднее давление впрыска всей порции топл., [бар]
 24.069 - d_32 - Средний диаметр капель, [мкм]
 6.0000 - Teta_оп - Опережение впрыска / зажигания, [град.до ВМТ]
 14.294 - Fi_впр - Продолжительность топливоподачи, [град]
 3.4021 - Teta_здр - Период задержки воспламен. в цилиндре, [град]
 - ... - расчет модифицированным методом Толстова: 3.4
 2.5979 - SOC - Начало сгорания, [град.до ВМТ] (Start Of Comb)
 0.02470 - Sig_и_здр- Доля топлива, испаривш. за период задержки
 37.200 - Fi_горен - Продолжительность сгорания, [град.п.к.в.]
 Phi_z 5%= 1.2; Phi_z 50%= 9.6; Phi_z 95%= 23.0
 1.7330 - H_вмт - Вихревое число (отношение) в КС в ВМТ
 0.60718 - H_нмт - Вихревое число в цилиндре в начале сжатия
 4.7421 - W_swirl - Макс. скорость вихря [м/с] в КС на радиусе R= 26

----- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

11.140 - Hartridge- Эмиссия дыма по шкале Хартриджа
 1.2091 - Bosch - Эмиссия дыма по шкале Бош
 0.27538 - Кд - Натур. показат. ослаблен. светов. потока, [1/м]
 0.29268 - РМ - Эмиссия твердых частиц [г/(кВт*ч)]
 778.84 - CO2 - Эмиссия диоксида углерода, [г/(кВт*ч)]
 11.846 - NO - Эмиссия NOx привед. к NO, [г/(кВт*ч)] (Zeldovich)
 2.6679 - SE - Комплекс суммарной эмиссии NOx и РМ
 0.0000 - SO2 - Эмиссия SO2, [г/кВтч]

----- ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ -----

1.2507 - Pa - Давление начала сжатия, [бар]
 330.15 - Ta - Температура начала сжатия, [К]
 74.126 - Pc - Давление конца сжатия, [бар]
 984.28 - Tc - Температура конца сжатия, [К]

3.1702 - Pb - Давление начала выпуска, [бар]
 790.42 - Tb - Температура начала выпуска, [K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРА -----

1146.2 - T_cp - Средняя эквивалентная температура цикла, [K]
 232.18 - Alfa_w - Ср. коэфф. теплоотд. от газа к стен,[Вт/м2/К]
 478.83 - Tw_поршн - Средн. температура огневого днища поршня, [K]
 420.00 - Tw_втулк - Средн. температ. огневой поверхн. втулки,[K]
 435.29 - Tw_крышк - Средн. температ. огневой поверхн. крышки,[K]
 378.47 - Tw_охл - Средн. температура со стороны охлаждения
 крыш крышки цилиндра, [K]
 398.16 - Tкип. - Температ.кипения в сист. жид. охлаждения,[K]
 8995.0 - Alf_w_охл- Средн. коэфф. теплоотдачи [Вт/(м2*К)] от
 стенки крышки цилиндра к охлажд. среде.
 1075.9 - q_крышки - Тепловой поток в крышку цилиндра, [Дж/с]
 1009.9 - q_поршня - Тепловой поток в поршень, [Дж/с]
 334.71 - q_цилинд - Тепловой поток во втулку цилиндра, [Дж/с]

----- ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС -----

21.240 - Степ.сжат- Степень сжатия (для ПДП при обоих поршнях в ВМТ)
 7.0000 - i_сопел - Число сопловых отверстий форсунки
 0.17700 - d_сопел - Диаметр сопловых отверстий форсунки, [мм]
 21.000 - Fi_впр.х - Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска,[град]
 0.0000 - qc_x - Цикл. порц. топл. для заданной хар. впрыска,[г]
 46.000 - Нач.вып - Начало выпуска, [град. до НМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Кон.вып - Конец выпуска, [град. за хМТ] (ВПуск. вала)
 3.0000 - Нач.впуск- Начало впуска, [град. до хМТ] (ВПуск. вала)
 27.000 - Кон.впуск- Конец впуска, [град. за НМТ] (ВПуск. вала)

----- ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ступени высокого давления -----

11665. - n_квд - Частота вращения ротора КВД, [1/мин]
 0.72048 - N_квд - Мощность компрессора ВД, [кВт]
 0.70600 - КПД_квд - Адиабатный КПД компрессора ВД
 0.02670 - G_квд - Расход воздуха через компрессор ВД, [кг/с]
 0.46228 - Gпр_квд - Расход воздуха приведенный, [кг SQRT(K)/(с бар)]
 0.02678 - Gсог_квд - Расход воздуха через КВД скорректиров.,[кг/с]
 687.39 - n.пр_квд - Частота вращения ротора КВД приведенная
 11866. - n.сог_квд- Частота вращ. рот. КВД скорректирован.,[1/мин]
 1.2500 - П_квд - Степень повышения давления в компрессоре ВД
 0.0000 - К.пи_квд - Коэффициент Кпи КВД
 0.98000 - Ро_квд - Полное давление на входе в КВД, [бар]
 288.00 - То_квд - Температура торможения на входе в КВД, [K]
 1.2250 - Рк*"квд - Полное давление за компрессором ВД, [бар]
 314.85 - Тк*"квд - Температура торможения за компрессором ВД,[K]
 0.75000 - Ecool_вд - Термическая эффективность ОНВ ВД
 288.00 - Tcool_вд - Температура охлаждающего агента в ОНВ ВД,[K]
 1.1750 - Рк*_квд - Давление наддува за КВД, [бар]
 294.71 - Тк*_квд - Температура наддувочного воздуха за КВД,[K]

----- ПАРАМЕТРЫ ТУРБИНЫ ступени высокого давления -----

11665. - n_твд - Частота вращения ротора ТНД, [1/мин]
 0.72047 - N_твд - Мощность ТВД с учетом мех. КПД, [кВт]
 0.73563 - КПД_твд - Внутренний КПД турбины ВД
 0.93000 - КПДм_твд - Механический КПД турбины ВД
 0.02560 - G_твд - Расход газа через ТВД, [кг/с]
 0.00463 - Gпр_твд - Расход газа через ТВД привед.,[(кг SQ(K))/(с кПа)]
 479.35 - n.пр_твд - Частота вращения ротора ТВД приведенная,

1.2918 - П_твд - Степень понижения давления в турбине ВД
 5.3576 - В_твд - Относительная работа ТВД
 1.3456 - Рт*_твд - Полное давление перед турбиной ВД, [бар]
 592.23 - Тт*_твд - Температура торможения на входе в ТВД, [К]
 1.0417 - Ро_твд - Противодействие за турбиной ВД, [бар]
 565.20 - То_твд - Температура газа за турбиной ВД, [К]

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПО ЗОНАМ НА МОМЕНТ ОКОНЧАНИЯ РАЗВИТИЯ СТРУЙ

N₁ угол в₁ угол с₁ поверхн. ₁ доли топлива в характерных зонах %
 с₁ плане ₁ осью ц₁ контакта ₁ Оболоч. Ядро_V Порш. Перекр Крышка Цил.зер

1₁ 0.0 ₁ 70.0 ₁ кам.в порш₁ 75.45 8.06 16.49 0.00 0.00 0.00

Сумма по всем струям % 100. ₁ 72.25 12.19 15.56 0.00 0.00 0.00

Константы испарения би ₁ 5896 909 507 428 438 15

Прим.: Перекр. - часть топлива ядра пристеночного потока, набегающая
 на пристеночные потоки от соседних струй.

Вихревое₁ (Надпорш. зазор, мм. 1.00) ₁ Оптим.₁ Геометрическое - 3.60
 число Н ₁ Для КС в конце сжатия 1.73 ₁ для КС₁ Уточн.Разлейцевым- 3.28

Версии модулей: Ядро 04.01.13; РК-модель 06.01.13; NOx-модель 22.02.13