



Министерство образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Инжиниринг силовых установок и транспортных
систем"

Расчетный проект

"Расчет энергетических установок автомобилей и тракторов"

Группа: 33225/5

Студент: Пуказов Я. Г.

Преподаватель: Метелев А. А.

Санкт-Петербург
2018

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РАЗМЕРОВ ДВИГАТЕЛЯ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Задаaniem курсового проекта является расчет автомобильного дизельного двигателя мощностью $N_e := 220 \text{ kW}$, при $n := 3800 \text{ rpm}$. (Двигатель типа D4D устанавливается на автомобиль: Land Cruiser Prado)

На основании исходных данных определим основные параметры проектируемого двигателя:

- Тип двигателя: *дизельный*
- Тактность двигателя: *четырёхтактный*
- Вид охлаждения: *жидкостное (с принудительной циркуляцией жидкости)*
- Число цилиндров в двигателе: $i=8$
- Расположение цилиндров: *V-образный*
- Проектируемый двигатель предполагается использовать в наземных условиях и при небольших высотах, поэтому давление и температуру принимаем:
 $P_0 := 0.1013 \text{ MPa}$ и $T_0 := 290 \text{ K}$
- Степень сжатия: $\varepsilon := 16.8$
- Коэффициент избытка воздуха: $\alpha := 1.6$
- Давление наддува (абсолютное): $P_k := 2 \text{ bar} = 0.2 \text{ MPa}$
- Коэффициент полезного тепловыделения: $\xi_z := 0.8$, $\xi_b := 0.9$
- Давление в начале сжатия: $P_a := (P_k \cdot 0.93)^{\text{explicit, ALL}} \rightarrow 0.2 \cdot \text{MPa} \cdot 0.93 = 0.186 \text{ MPa}$
- Давление остаточных газов (до турбонаддува):
 $P_r := (P_a - 0.02 \text{ MPa})^{\text{explicit, ALL}} \rightarrow 0.186 \cdot \text{MPa} - 0.02 \text{ MPa} = (1.66 \cdot 10^5) \text{ Pa}$
- Температура остаточных газов: $T_r := 800 \text{ K}$
- Подогрев заряда от стенок: $\Delta T := 12 \text{ K}$
- Механический КПД: $\eta_{\text{max}} := 0.8$
- Коэффициент дозарядки: $\lambda_1 := 1.02$
- Коэффициент очистки объёма сжатия: $\lambda_2 := 1$
- Коэффициент неодинаковости теплоемкостей свежего заряда: $\psi' := 1.1$
- Коэффициент полноты диаграммы: $\varphi := 0.95$
- max давление сгорания в цикле $P_z := 16 \text{ MPa}$

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

А) Расчет процесса наполнения

Температура воздуха перед впускными органами

$$T_0 := 288 \text{ K}$$

$$T_k := T_0 = 288 \text{ K}$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_V := \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \lambda_1 \cdot \frac{P_0}{P_k} \cdot \left(1 - \frac{\psi' \cdot \lambda_2 \cdot P_r}{\lambda_1 \cdot \varepsilon \cdot P_0} \right) \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{16.8}{16.8 - 1} \cdot 1.02 \cdot \frac{0.186 \cdot \text{MPa}}{0.2 \cdot \text{MPa}} \cdot \left(1 - \frac{1.1 \cdot 166000 \cdot \text{Pa}}{102 \cdot 16.8 \cdot 0.186 \cdot \text{MPa}} \right) \cdot \frac{288 \cdot \text{K}}{288 \cdot \text{K} + 12 \text{ K}} = 0.913$$

$$\eta_V := 0.913$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r := \frac{\lambda_2}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_r}{P_k} \cdot \frac{T_k}{T_r} \cdot \frac{1}{\eta_V} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{1}{16.8 - 1} \cdot \frac{166000 \cdot \text{Pa}}{0.2 \cdot \text{MPa}} \cdot \frac{288 \cdot \text{K}}{800 \text{ K}} \cdot \frac{1}{0.913} = 0.021$$

$$\gamma_r := 0.021$$

Температура рабочего тела в начале сжатия:

$$T_a := \frac{T_k + \Delta T + \psi' \cdot \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{288 \cdot \text{K} + 12 \text{ K} + 1.1 \cdot 0.021 \cdot 800 \text{ K}}{1 + 0.021} = 311.929 \text{ K}$$

$$T_a := 311.929 \text{ K}$$

Б) Расчет процесса сжатия

$$a := 20.26$$

$$b := 0.0025$$

Средний показатель политропы сжатия:

$$k_1 - 1 = \frac{8.314}{19.26 + 0.0025 \cdot T_a (\varepsilon^{k_1 - 1} + 1)}$$

Найдем k_1 методом последовательных приближений:

В первом приближении задаемся $k_1 := 1.36$, тогда

$$k_1' := \frac{8.314}{a + b \cdot T_a \cdot (\varepsilon^{k_1 - 1} + 1)} + 1 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{8.314}{20.26 + 0.0025 \cdot 311.929 \cdot (16.8^{1.36 - 1} + 1)} + 1 = 1.358$$

Второе приближение $k'_i := 1.358$, тогда

$$k''_i := \frac{8.314}{a + b \cdot T_a \cdot (\varepsilon^{k'_i - 1} + 1)} + 1 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{8.314}{20.26 + 0.0025 \cdot 311.929 \cdot (16.8^{1.358 - 1} + 1)} + 1 = 1.359$$

Третье приближение $k''_i := 1.359$, тогда

$$k'''_i := \frac{8.314}{a + b \cdot T_a \cdot (\varepsilon^{k''_i - 1} + 1)} + 1 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{8.314}{20.26 + 0.0025 \cdot 311.929 \cdot (16.8^{1.359 - 1} + 1)} + 1 = 1.359$$

$$k'''_i := 1.359$$

$$\eta_i := k'''_i = 1.359$$

$$k_i := \eta_i = 1.359$$

Давление в конце сжатия:

$$P_c := P_a \cdot \varepsilon^{\eta_i} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.186 \cdot \text{MPa} \cdot 16.8^{1.359} = 8.604 \text{ MPa}$$

$$P_c := 8.604 \text{ MPa}$$

Температура в конце сжатия:

$$T_c := T_a \cdot \varepsilon^{\eta_i - 1} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 311.929 \cdot 16.8^{1.359 - 1} = 858.898 \text{ K}$$

$$T_c := 858.898 \text{ K}$$

Средняя теплоемкость при сжатии:

$$\mu c V_c := a + b \cdot T_c \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 20.26 + 0.0025 \cdot 858.898 = 22.407 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{K}}$$

$$\mu c V_c := 22.407 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{K}}$$

В) Расчет процесса сгорания

Количество воздуха, теоретически необходимое для сгорания:

$$M_0 := \frac{1}{0.21} \cdot \left(\frac{0.87}{12} + \frac{0.126}{4} - \frac{0.004}{32} + \frac{0.001}{32} \right) = 0.495 \frac{\text{кмоль}}{\text{кг}}$$

$$M_0 := 0.495 \frac{\text{кмоль}}{\text{кг}}$$

Состав топлива				
	C	H	O	S
Бензин	0,855	0,145	0	0
Дизель	0,87	0,126	0,004	0,001

Количество свежего заряда:

$$M_3 := \alpha \cdot M_0 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 1.6 \cdot 0.495 = 0.792 \frac{\text{кмоль}}{\text{кг}}$$

$$M_3 := 0.792 \frac{\text{кмоль}}{\text{кг}}$$

Количество продуктов сгорания:

$$M_2 := \frac{0.87}{12} + \frac{0.126}{2} + (\alpha - 0.21) \cdot M_0 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.87}{12} + \frac{0.126}{2} + (1.6 - 0.21) \cdot 0.495 = 0.824 \frac{\text{кмоль}}{\text{кг}}$$

$$M_2 := 0.824 \frac{\text{кмоль}}{\text{кг}}$$

Теоретический коэффициент молекулярного изменения:

$$\beta_0 := \frac{M_2}{M_3} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.824}{0.792} = 1.04$$

$$\beta_0 := 1.04$$

Действительный коэффициент молекулярного изменения:

$$\beta := 1 + \frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 1 + \frac{1.04 - 1}{1 + 0.021} = 1.039$$

$$\beta := 1.039$$

Доля топлива, сгоревшего в точке z:

$$x_z := \frac{\xi_z}{\xi_b} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.8}{0.9} = 0.889$$

$$x_z := 0.889$$

Коэффициент молекулярного изменения в точке z:

$$\beta_z := \beta \cdot x_z \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 1.039 \cdot 0.889 = 0.924$$

$$\beta_z := 0.924$$

Потеря от неполноты сгорания:

$$\Delta Q_H := 120000 \cdot (\alpha - 1) \cdot M_O \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 120000 \cdot (1.6 - 1) \cdot 0.495 = 3.564 \cdot 10^4$$

$$\Delta Q_H := 3.564 \cdot 10^4$$

Максимальная температура сгорания T_z, K :

$$\frac{\xi_z (Q_H - \Delta Q_H)}{M_3 \cdot (1 + \gamma_r)} + \overline{\mu C_{vc}} \cdot T_c = \beta_z \cdot \mu C_{vz} \cdot T_z$$

Примем $T_z := 2600 K$, подставим в выражение для μC_{V_z}

$$\mu C_{V_z} := \left(20.1 + \frac{0.921}{\alpha} \right) + \left(1.55 + \frac{1.38}{\alpha} \right) \cdot 10^{-3} \cdot T_z \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 20.1 + \frac{0.921}{1.6} + \left(1.55 + \frac{1.38}{1.6} \right) \cdot 10^{-3} \cdot 2600 = 26.948$$

$$\mu C_{V_z} := 26.948$$

Получившиеся μC_{V_z} подставим в термодинамическое уравнение и выразим T_z

$$Q_H := 44000$$

$$\lambda := \frac{P_z}{P_c} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{16 \text{ MPa}}{8.604 \text{ MPa}} = 1.86$$

$$\lambda := 1.86$$

$$\frac{\xi_z \cdot Q_H}{M_3 \cdot (1 + \gamma_r)} + (\mu_c V_c + 8.314 \cdot \lambda) \cdot T_c \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.8 \cdot 44000}{0.792 \cdot (1 + 0.021)} + (22.407 + 8.314 \cdot 1.86) \cdot 858.898 = 7.606 \cdot 10^4$$

$$T_z := \frac{\left(\frac{\xi_z \cdot Q_H}{M_3 \cdot (1 + \gamma_r)} + (\mu_c V_c + 8.314 \cdot \lambda) \cdot T_c \right)}{\beta_z \cdot (\mu_c V_z + 8.314)} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.8 \cdot 44000}{0.792 \cdot (1 + 0.021)} + \frac{(22.407 + 8.314 \cdot 1.86) \cdot 858.898}{0.924 \cdot (26.948125 + 8.314)} = 2.334 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$T_z := 2334 \text{ K}$

Методом приближений вычисляем T_z

1) Подставим $T_z = 2.334 \cdot 10^3 \text{ K}$, получим

$$\mu_c V_z := \left(20.1 + \frac{0.921}{\alpha} \right) + \left(155 + \frac{138}{\alpha} \right) \cdot 10^{-3} \cdot T_z \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 20.1 + \frac{0.921}{1.6} + \left(155 + \frac{138}{1.6} \right) \cdot 10^{-3} \cdot 2.334 = 26.306$$

$\mu_c V_z := 26.306$

$$T_z := \frac{\left(\frac{\xi_z \cdot Q_H}{M_3 \cdot (1 + \gamma_r)} + (\mu_c V_c + 8.314 \cdot \lambda) \cdot T_c \right)}{\beta_z \cdot (\mu_c V_z + 8.314)} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.8 \cdot 44000}{0.792 \cdot (1 + 0.021)} + \frac{(22.407 + 8.314 \cdot 1.86) \cdot 858.898}{0.924 \cdot (26.306 + 8.314)} = 2.378 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$T_z := 2378 \text{ K}$

2) Подставим $T_z = 2.378 \cdot 10^3 \text{ K}$, получим

$$\mu_c V_z := \left(20.1 + \frac{0.921}{\alpha} \right) + \left(155 + \frac{138}{\alpha} \right) \cdot 10^{-3} \cdot T_z \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 20.1 + \frac{0.921}{1.6} + \left(155 + \frac{138}{1.6} \right) \cdot 10^{-3} \cdot 2.378 = 26.413$$

$\mu_c V_z := 26.413$

$$T_z := \frac{\left(\frac{\xi_z \cdot Q_H}{M_3 \cdot (1 + \gamma_r)} + (\mu_c V_c + 8.314 \cdot \lambda) \cdot T_c \right)}{\beta_z \cdot (\mu_c V_z + 8.314)} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.8 \cdot 44000}{0.792 \cdot (1 + 0.021)} + \frac{(22.407 + 8.314 \cdot 1.86) \cdot 858.898}{0.924 \cdot (26.413 + 8.314)} = 2.37 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$T_z := 2370 \text{ K}$

3) Подставим $T_z = 2.37 \cdot 10^3 \text{ K}$, получим

$$\mu_c V_z := \left(20.1 + \frac{0.921}{\alpha} \right) + \left(155 + \frac{138}{\alpha} \right) \cdot 10^{-3} \cdot T_z \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 20.1 + \frac{0.921}{1.6} + \left(155 + \frac{138}{1.6} \right) \cdot 10^{-3} \cdot 2.370 = 26.393$$

$\mu_c V_z := 26.393$

$$T_z := \frac{\left(\frac{\xi_z \cdot Q_H}{M_g \cdot (1 + \gamma_r)} + (\mu c V_c + 8.314 \lambda) \cdot T_c \right)}{\beta_z \cdot (\mu c V_z + 8.314)} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.8 \cdot 44000}{0.792 \cdot (1 + 0.021)} + \frac{(22.407 + 8.314 \cdot 1.86) \cdot 858.898}{0.924 \cdot (26.393 + 8.314)} = 2.372 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$$T_z := 2372 \text{ K}$$

4) Подставим $T_z = 2.372 \cdot 10^3 \text{ K}$, получим

$$\mu c V_z := \left(20.1 + \frac{0.921}{\alpha} \right) + \left(1.55 + \frac{1.38}{\alpha} \right) \cdot 10^{-3} \cdot T_z \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 20.1 + \frac{0.921}{1.6} + \left(1.55 + \frac{1.38}{1.6} \right) \cdot 10^{-3} \cdot 2372 = 26.398$$

$$\mu c V_z := 26.398$$

$$T_z := \frac{\left(\frac{\xi_z \cdot Q_H}{M_g \cdot (1 + \gamma_r)} + (\mu c V_c + 8.314 \lambda) \cdot T_c \right)}{\beta_z \cdot (\mu c V_z + 8.314)} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.8 \cdot 44000}{0.792 \cdot (1 + 0.021)} + \frac{(22.407 + 8.314 \cdot 1.86) \cdot 858.898}{0.924 \cdot (26.398 + 8.314)} = 2.371 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$$T_z := 2371 \text{ K}$$

В итоге:

$$\mu c V_z = 26.398 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{K}},$$

$$T_z = 2.371 \cdot 10^3 \text{ K}$$

Г) Расчет процесса расширения:

Степень предварительного расширения :

$$\rho := \frac{\beta_z \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.924 \cdot 2371}{1.86 \cdot 858.898} = 1.371$$

$$\rho := 1.371$$

Степень последующего расширения:

$$\delta := \frac{\varepsilon}{\rho} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{16.8}{1.371} = 12.254$$

$$\delta := 12.254$$

Показатель политропы расширения:

$$a_b := 20.916$$

$$b_b := 0.00287$$

$$a_z := a_b = 20.916$$

$$b_z := b_b = 0.003$$

$$1) T_b := 1700$$

$$\eta_2 := \frac{8.314 \cdot \left(\frac{\beta_z}{\beta} \cdot T_z - T_b \right)}{\left(Q_H - \Delta Q_H \right) \cdot (\xi_b - \xi_z) + \frac{\beta_z}{\beta} \cdot (a_z + b_z \cdot T_z) \cdot T_z - (a_b + b_b \cdot T_b) \cdot T_b} + 1$$

$$\eta_2 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{8.314 \cdot \left(\frac{0.924}{1.039} \cdot 2371 - 1700 \right)}{\left(44000 - 3564 \cdot 10^4 \right) \cdot (0.9 - 0.8) + \frac{0.924}{1.039} \cdot (20.916 + 0.00287 \cdot 2371) \cdot 2371 - (20.916 + 0.00287 \cdot 1700) \cdot 1700} + 1$$

$$\eta_2 = 1.218$$

$$\eta_2 := 1.218$$

$$2) T_b := \frac{T_z}{\delta^{\eta_2 - 1}} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{2371}{12.254^{1.218 - 1}} = 1.373 \cdot 10^3$$

$$T_b := 1.373 \cdot 10^3$$

$$\eta_2 := \frac{8.314 \cdot \left(\frac{\beta_z}{\beta} \cdot T_z - T_b \right)}{\left(Q_H - \Delta Q_H \right) \cdot (\xi_b - \xi_z) + \frac{\beta_z}{\beta} \cdot (a_z + b_z \cdot T_z) \cdot T_z - (a_b + b_b \cdot T_b) \cdot T_b} + 1$$

$$\eta_2 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{8.314 \cdot \left(\frac{0.924}{1.039} \cdot 2371 - 1.373 \cdot 10^3 \right)}{\left(44000 - 3564 \cdot 10^4 \right) \cdot (0.9 - 0.8) + \frac{0.924}{1.039} \cdot (20.916 + 0.00287 \cdot 2371) \cdot 2371 - (20.916 + 0.00287 \cdot 1.373 \cdot 10^3) \cdot 1.373 \cdot 10^3} + 1$$

$$\eta_2 = 1.242$$

$$\eta_2 := 1.242$$

$$3) T_b := \frac{T_z}{\delta^{\eta_2 - 1}} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{2371}{12.254^{1.242 - 1}} = 1.293 \cdot 10^3$$

$$T_b := 1.293 \cdot 10^3$$

$$n_2 := \frac{(Q_H - \Delta Q_H) \cdot (\xi_b - \xi_z)}{M_3 \cdot (1 + \gamma_r) \cdot \beta} + \frac{\beta_z \cdot (a_z + b_z \cdot T_z) \cdot T_z - (a_b + b_b \cdot T_b) \cdot T_b}{\beta} + 1$$

$$n_2 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{(44000 - 3564 \cdot 10^4) \cdot (0.9 - 0.8)}{0.792 \cdot (1 + 0.021) \cdot 1039} + \frac{0.924}{1039} \cdot (20.916 + 0.00287 \cdot 2371) \cdot 2371 - (20.916 + 0.00287 \cdot 1293 \cdot 10^3) \cdot 1293 \cdot 10^3 + 1$$

$$n_2 = 1246$$

$$n_2 := 1246$$

$$4) T_b := \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{2371}{12.254^{1246-1}} = 1.28 \cdot 10^3$$

$$T_b := 1.28 \cdot 10^3$$

$$n_2 := \frac{(Q_H - \Delta Q_H) \cdot (\xi_b - \xi_z)}{M_3 \cdot (1 + \gamma_r) \cdot \beta} + \frac{\beta_z \cdot (a_z + b_z \cdot T_z) \cdot T_z - (a_b + b_b \cdot T_b) \cdot T_b}{\beta} + 1$$

$$n_2 \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{(44000 - 3564 \cdot 10^4) \cdot (0.9 - 0.8)}{0.792 \cdot (1 + 0.021) \cdot 1039} + \frac{0.924}{1039} \cdot (20.916 + 0.00287 \cdot 2371) \cdot 2371 - (20.916 + 0.00287 \cdot 1.28 \cdot 10^3) \cdot 1.28 \cdot 10^3 + 1$$

$$n_2 = 1246$$

$$n_2 := 1246$$

Далее было сделано три итерации, результаты сведены в таблицу:

	Приближения			
	1	2	3	4
T _b	1700	1373	1293	1280
n ₂	1.218	1.242	1.246	1.246

Давление в конце расширения:

$$P_b := \frac{P_z}{\delta^{n_2}} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{16 \text{ MPa}}{12.254^{1246}} = 0.705 \text{ MPa}$$

$$P_b := 0.705 \text{ MPa}$$

Температура остаточных газов:

$$T_r := \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{128 \cdot 10^3}{\sqrt[3]{\frac{0.705 \text{ MPa}}{166000 \cdot \text{Pa}}}} = 790.405 \text{ K}$$

$$T_r := 790.405$$

ИНДИКАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Среднее индикаторное давление теоретического цикла:

$$P'_i := \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left(\lambda \cdot (p - 1) + \frac{\lambda \cdot p}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right)$$

$$P'_i \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{8.604 \text{ MPa}}{16.8 - 1} \cdot \left(1.86 \cdot (1.371 - 1) + \frac{1.86 \cdot 1.371}{12.46 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{12.254^{12.46 - 1}} \right) - \frac{1}{1.359 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{16.8^{1.359 - 1}} \right) \right)$$

$$P'_i = 2.007 \text{ MPa}$$

$$P'_i := 2.007 \text{ MPa}$$

Среднее индикаторное давление цикла:

$$P_i := \varphi \cdot P'_i \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.95 \cdot 2.007 \text{ MPa} = 1.907 \text{ MPa}$$

$$P_i := 1.907 \text{ MPa}$$

Индикаторный КПД:

$$\eta_i := 8.314 \cdot \frac{M_3 \cdot T_k \cdot P_i}{\eta_V \cdot P_k \cdot Q_H} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 8.314 \cdot \frac{0.792 \cdot 288 \cdot 1.907 \text{ MPa}}{0.913 \cdot 0.2 \cdot \text{MPa} \cdot 44000} = 0.45$$

$$\eta_i := 0.45$$

Удельный индикаторный расход топлива:

$$g_i := \frac{3600}{\eta_i \cdot Q_H} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{3600}{0.45 \cdot 44000} = 0.182 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$g_i := 0.182 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

ЭФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Среднее эффективное давление:

$$P_e := P_i \cdot \eta_{\max} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 1.907 \text{ МПа} \cdot 0.8 = 1.526 \text{ МПа}$$

$$P_e := 1.526 \text{ МПа}$$

Эффективный КПД:

$$\eta_e := \eta_i \cdot \eta_{\max} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.45 \cdot 0.8 = 0.36$$

$$\eta_e := 0.36$$

Удельный эффективный расход топлива:

$$g_e := \frac{3600}{Q_H \cdot \eta_e} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{3600}{44000 \cdot 0.36} = 0.227 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$g_e := 0.227 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

РАЗМЕРЫ ЦИЛИНДРА

Число цилиндров берем такое же, как и у прототипа $i := 8$

Рабочий объем одного цилиндра:

$$m := 2$$

$$n := 3800$$

$$n = 397.935 \frac{1}{s}$$

$$V_s := \frac{60 \cdot m \cdot N_e}{P_e \cdot n \cdot i \cdot 10} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{60 \cdot 2 \cdot 220 \text{ кВт}}{1.526 \text{ МПа} \cdot 3800 \text{ rpm} \cdot 8 \cdot 10} = 0.543 \text{ л}$$

$$V_s := 0.543$$

Для двигателя D4D возьмем:

$$SD := 1.15$$

$$\text{Диаметр цилиндра } D := \sqrt[3]{\frac{V_s}{0.785 \cdot SD}} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \sqrt[3]{\frac{0.543}{0.785 \cdot 1.15}} = 0.844 \text{ дм}$$

$$D := 0.844 \text{ дм}$$

$$\text{Ход поршня } S := D \cdot SD \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.844 \cdot 1.15 = 0.971 \text{ дм}$$

$$S := 0.0971 \text{ м}$$

$$\text{Проверка: } V_s := \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{\pi \cdot 0.844^2 \cdot 0.0971}{4} = 0.054$$

Определим среднюю скорость поршня:

$$c_m := \frac{S \cdot n}{30} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.0971 \cdot 3800}{30} = 12.299 \text{ м/с}$$

ПОСТРОЕНИЕ ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЫ

	φ пкв	Sc	Sx	Scx	Са	Ex	Ex ^{п1}	Pcx	Ex ^{п2}	Pbx	Vi
3,1400	180,0000	0,0614	0,9700	1,0314	1,0314	1,0000	1,0000	0,1860	1,0000	0,7050	0,5767
2,7911	160,0000	0,0614	0,9461	1,0075	1,0314	1,0238	1,0324	0,1920	1,0298	0,7260	0,5634
2,4422	140,0000	0,0614	0,8756	0,9370	1,0314	1,1007	1,1393	0,2119	1,1274	0,7948	0,5240
2,0933	120,0000	0,0614	0,7624	0,8238	1,0314	1,2520	1,3573	0,2524	1,3244	0,9337	0,4606
1,7444	100,0000	0,0614	0,6144	0,6758	1,0314	1,5261	1,7762	0,3304	1,6962	1,1958	0,3779
1,3956	80,0000	0,0614	0,4461	0,5074	1,0314	2,0325	2,6219	0,4877	2,4268	1,7109	0,2838
1,0467	60,0000	0,0614	0,2775	0,3389	1,0314	3,0431	4,5375	0,8440	4,0192	2,8335	0,1895
0,6978	40,0000	0,0614	0,1328	0,1942	1,0314	5,3117	9,6738	1,7993	8,0639	5,6851	0,1086
0,3489	20,0000	0,0614	0,0347	0,0961	1,0314	10,7314	25,1571	4,6792	19,4231	13,6933	0,0537
0,0000	0,0000	0,0614	0,0000	0,0614	1,0314	16,8000	46,2589	8,6042	34,0123	23,9787	0,0343
-0,3489	-20,0000	0,0614	0,0347	0,0961	1,0314	10,7314	25,1571	4,6792	19,4231	13,6933	0,0537
-0,6978	-40,0000	0,0614	0,1328	0,1942	1,0314	5,3117	9,6738	1,7993	8,0639	5,6851	0,1086
-1,0467	-60,0000	0,0614	0,2775	0,3389	1,0314	3,0431	4,5375	0,8440	4,0192	2,8335	0,1895
-1,3956	-80,0000	0,0614	0,4461	0,5074	1,0314	2,0325	2,6219	0,4877	2,4268	1,7109	0,2838
-1,7444	-100,0000	0,0614	0,6144	0,6758	1,0314	1,5261	1,7762	0,3304	1,6962	1,1958	0,3779
-2,0933	-120,0000	0,0614	0,7624	0,8238	1,0314	1,2520	1,3573	0,2524	1,3244	0,9337	0,4606
-2,4422	-140,0000	0,0614	0,8756	0,9370	1,0314	1,1007	1,1393	0,2119	1,1274	0,7948	0,5240
-2,7911	-160,0000	0,0614	0,9461	1,0075	1,0314	1,0238	1,0324	0,1920	1,0298	0,7260	0,5634
-3,1400	-180,0000	0,0614	0,9700	1,0314	1,0314	1,0000	1,0000	0,1860	1,0000	0,7050	0,5767

Пример расчета для угла $\varphi_{180} := 180^\circ$

$$S := 0.97$$

$$L := 2.5$$

$$S = 0.97$$

$$\varepsilon = 16.8$$

$$n_1 = 1.359$$

$$n_2 = 1.246$$

$$P_a = 0.186 \text{ МПа}$$

$$P_b = 0.705 \text{ МПа}$$

$$D = 0.844$$

$$R := \frac{S}{2} = 0.485$$

$$\lambda := \frac{R}{L} = 0.194$$

$$S_c := \frac{S}{(\varepsilon - 1)} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{0.97}{16.8 - 1} = 0.061$$

$$S_x := R \cdot \left(1 - \cos(\varphi_{180}) + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos(2 \cdot \varphi_{180})) \right) \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.485 \cdot \left(1 - \cos(180) + \frac{0.194}{4} \cdot (1 - \cos(2 \cdot 180)) \right) = 0.97$$

$$S_{cx} := S_c + S_x \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.061392405063291133 + 0.97 = 1.031$$

$$S_a := S_c + S \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.061392405063291133 + 0.97 = 1.031$$

$$\varepsilon_x := \frac{S_a}{S_{cx}} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{1.0313924050632912}{1.0313924050632912} = 1$$

$$\varepsilon_x^{n_1} = 1$$

$$P_{cx180} := P_a \cdot \varepsilon_x^{n_1} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.186 \cdot \text{MPa} \cdot 1^{1359} = 0.186 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_x^{n_2} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 1^{1246} = 1$$

$$P_{bx180} := P_b \cdot \varepsilon_x^{n_2} \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} 0.705 \text{ MPa} \cdot 1^{1246} = 0.705 \text{ MPa}$$

$$V := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot S \xrightarrow{\text{explicit, ALL}} \frac{\pi \cdot 0.844^2}{4} \cdot 0.97 = 0.543$$

Интерполяция данных:

$$q := \text{cspline}(\text{rotate180}(V), \text{rotate180}(P_{bx}))$$

$$w := \text{cspline}(\text{rotate180}(V), \text{rotate180}(P_{cx}))$$

$$P_{bx}(v_i) := \text{interp}(q, \text{rotate180}(V), \text{rotate180}(P_{bx1}), v_i)$$

$$P_{cx}(v_i) := \text{interp}(w, \text{rotate180}(V), P_{cx1}, v_i)$$

$$v_i := 0, 0.01 \dots 0.65$$

$$c := \text{cspline}(\text{rotate180}(\varphi_1), \text{rotate180}(P_{bx1}))$$

$$d := \text{cspline}(\text{rotate180}(\varphi_2), \text{rotate180}(P_{cx1}))$$

$$P_{bx1}(\phi) := \text{interp}(c, \text{rotate180}(\varphi_1), \text{rotate180}(P_{bx1}), \phi)$$

$$P_{cx1}(\phi) := \text{interp}(d, \text{rotate180}(\varphi_2), \text{rotate180}(P_{cx1}), \phi)$$

$$\phi := 0.1 \dots 180$$

$$\phi_1 := 0, -1 \dots -180$$



