

УДК 621.6-7

А.Н. Соболенко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ НАЧАЛА СЖАТИЯ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ПО СПОСОБУ МИЛЛЕРА

Способ охлаждения наддувочного воздуха Миллера характеризуется наличием угла опережения закрытия впускных клапанов до прихода поршня в нижнюю мертвую точку на такте впуска. При этом возникает задача определения давления и температуры начала сжатия при приходе поршня в нижнюю мертвую точку.

Предлагается определять эти параметры исходя из параметров воздушного заряда перед впускными клапанами и из предположения, что процесс расширения после закрытия впускного клапана в цилиндре является политропным, по аналогии с действительными процессами сжатия и расширения.

Получены формулы, позволяющие рассчитать показатель политропы расширения, давление и температуру в конце расширения – начале такта сжатия в процедуре Миллера.

Приведены результаты расчета и показаны целесообразные пределы увеличения угла опережения закрытия впускных клапанов на такте впуска при изменении степени сжатия от $\varepsilon = 12,5$ до $\varepsilon = 14,5$.

Ключевые слова: *охлаждение, наддувочный воздух, способ Миллера, давление, температура, показатель политропы.*

A.N. Sobolenko

TEMPERATURE AND PRESSURE CALCULATION AT THE BEGINNING OF THE COMPRESSION STROKE IN THE OPERATIONAL CYCLE USING SUPERCHARGING AIR CALLING BY MILLERS MODE

The Millers mode of cooling supercharging air is characterized by of closing inlet valve before piston comes to bottom dead centre during inlet stroke. In this case the problem to determine pressure and temperature at the bottom dead centre piston position (the beginning of the compression stroke) is arised.

It is assumed to determine these parameters proceeding from air charge parameters before inlet valves using assumption that expansion process in cylinder is polytropic process by analogy with real compression and expansion processes.

Formulas one found which make it possible to calculate polytropic exponent of expansion, pressure and temperature at the end of expansion – at the beginning compression of stroke using Millers mode.

Results of calculation are given. More rational of advance angle limits of inlet valves closing are given when compression ratio is varied from $\varepsilon = 12,5$ to $\varepsilon = 14,5$.

Key words: *cooling, supercharge air, Millers mode, pressure, temperature, polytropic exponent.*

Предложенный и осуществленный Франком Миллером способ отличается от обычного способа наддува наличием изменяющейся фазы закрытия впускного клапана. При увеличении нагрузки, т.е. при повышении давления наддува, угол опережения закрытия впускного клапана увеличивается, вследствие чего рабочий цилиндр лишь частично заполняется свежим зарядом. Перед ходом сжатия, т.е. еще во время хода впуска, заряд в цилиндре расширяется (при движении поршня до НМТ) и при этом охлаждается. Сжатие начинается (за счет уменьшения количества заряда по сравнению с тем, которое могло быть достигнуто при этом же давлении наддува с другими фазами газораспределения) при более низкой температуре, чем при поступлении в цилиндр полного заряда [1].

У двигателей с наддувом недостаток, заключающийся в уменьшении наполнения цилиндра, может быть компенсирован соответствующим повышением давления наддува. Использование способа Миллера особенно актуально для шеститактного рабочего цикла, имеющего высокую энергию выпускных газов, способных обеспечить высокие степени наддува и для которых остро стоит проблема снижения температур в рабочем цикле [2].

При расчетах рабочего цикла с использованием способа Миллера возникает задача определения давления и температуры начала сжатия.

В данной статье предлагается определять эти параметры исходя из параметров воздушного заряда перед впускными клапанами и из предположения, что процесс расширения после закрытия впускного клапана в цилиндре является политропным, по аналогии с действительными процессами сжатия и расширения [3].

Показатель политропы расширения определится из известного соотношения

$$n_1^1 - 1 = \frac{8,315}{a_v + b_v T_a \left(1 + \varepsilon^{n_1^1 - 1}\right)}, \quad (1)$$

где a_v и b_v – коэффициенты уравнений средней изохорной теплоемкости, определяются по следующим формулам:

$$a_v = \frac{\gamma_r \cdot 20,47 + [\alpha(1 + \gamma_r) - \gamma_r] \cdot 19,26}{\alpha(1 + \gamma_r)};$$

$$b_v = \frac{\gamma_r \cdot 0,036 + [\alpha(1 + \gamma_r) - \gamma_r] \cdot 0,025}{\alpha(1 + \gamma_r)};$$

γ_r – коэффициент остаточных газов; α – коэффициент избытка воздуха для сгорания топлива; T_a – температура в начале сжатия, К; ε – степень сжатия.

Величина степени расширения в зависимости от угла опережения закрытия впускного клапана до НМТ может быть определена по зависимости

$$\varepsilon_x = 1 - \cos \varphi_{on} + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi_{on}), \quad (2)$$

где λ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна (постоянная КШМ); φ_{on} – угол опережения закрытия впускного клапана до НМТ.

В нашей задаче температура в начале сжатия неизвестна. Требуется решить обратную задачу по формуле (1), т.е. нам известна температура конца сжатия T_k' .

Температура начала сжатия, а в нашем случае это температура конца расширения при движении поршня от закрытия впускного клапана до НМТ определится из соотношения

$$T_k' = T_a \varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}; \quad (3)$$

$$T_a = \frac{T_k'}{\varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}}. \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в формулу (1):

$$n_1^1 - 1 = \frac{8,315}{a_v + b_v \frac{T_k'}{\varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}} (1 + \varepsilon_x^{n_1^1 - 1})} = \frac{8,315}{a_v + b_v T_k' \left(\frac{1}{\varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}} + 1 \right)}. \quad (5)$$

Формула (5) является расчетной для определения показателя политропы n_1^1 на участке расширения от угла закрытия впускных клапанов до НМТ.

Температура начала сжатия рабочего цикла определяется по формуле (4).

Значение степени расширения в зависимости от угла опережения закрытия впускных клапанов от НМТ определяется по формуле (2).

Температура воздушного заряда в цилиндре после закрытия впускных клапанов определится из соотношения

$$T_k' = \frac{T_k + \gamma_r T_r + \Delta T_a}{1 + \gamma_r}, \quad (6)$$

где T_k – температура воздушного заряда перед впускными клапанами после воздухоохладителя; T_r – температура остаточных газов в цилиндре дизеля; ΔT_a – величина подогрева заряда от стенок цилиндра, крышки доньшка поршня при поступлении его в цилиндр.

Давление начала сжатия, а в нашем случае это давление конца расширения при движении поршня от закрытия впускного клапана до НМТ определится из соотношения

$$p_k' = p_a \varepsilon_x^{n_1^1}; \quad (7)$$

$$p_a = \frac{p_k'}{\varepsilon_x^{n_1^1}}, \quad (8)$$

где $p_k' = p_k \zeta_{p_a}$; p_k – давление надувочного воздуха перед впускными клапанами; ζ_{p_a} – коэффициент снижения давления в начале сжатия.

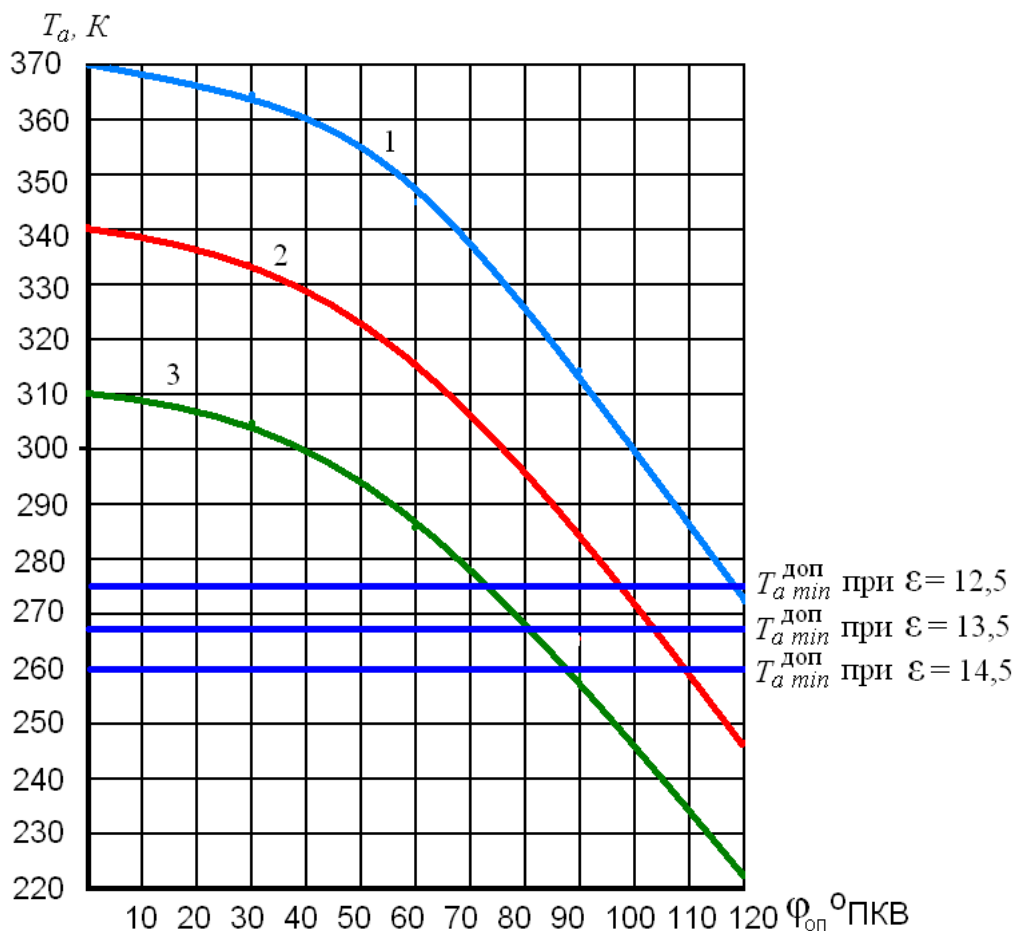
Результаты расчета изменения параметров в начале сжатия в зависимости от угла закрытия впускных клапанов до НМТ приведены на рисунке. В расчетах приняты следующие параметры: $\gamma_r = 0,08$; $\alpha = 3,25$; $\varepsilon = 12,5$; $\lambda = 0,25$. Расчет выполнен для трех значений температур воздушного заряда в цилиндре после закрытия впускных клапанов: $T_k' = 310$ К, 340 К и 370 К. Угол опережения закрытия впускных клапанов варьировался от 0 до 120 °ПКВ.

На этом же рисунке нанесены линии минимально допустимой температуры начала сжатия исходя из возможности обеспечения надежного самовоспламенения впрыскиваемого дизельного топлива. Температура надежного самовоспламенения принята равной $T_{\min}^{\text{доп}} = 700$ К.

Как следует из графиков, при увеличении угла опережения закрытия впускных клапанов φ_{on} температура T_a в НМТ (начало сжатия следующего после наполнения процесса) понижается. Сначала примерно до $\varphi_{on} = 40$ ° ПКВ это понижение имеет плавный характер и затем резко падает.

Наиболее вероятно достижимой является температура $T_k' = 340$ К при использовании водовоздушных охладителей рекуперативного типа. Для этой температуры увеличение φ_{on}

свыше 97 °ПКВ при степени сжатия 12,5 и свыше 110 °ПКВ при степени сжатия 14,5 нецелесообразно, так как могут возникнуть проблемы с самовоспламенением дизельного топлива.



Изменение температуры в начале процесса сжатия в зависимости от угла опережения закрытия впускных клапанов до НМТ и температуры заряда в цилиндре после их закрытия:

$$1 - T'_k = 370 \text{ К}; 2 - T'_k = 340 \text{ К}; 3 - T'_k = 371 \text{ К}$$

The temperature change at the compression stroke beginning subject to advance angle limits of inlet valves closing and air charge temperature in cylinder after theirs closing:

$$1 - T'_k = 370 \text{ К}; 2 - T'_k = 340 \text{ К}; 3 - T'_k = 371 \text{ К}$$

Список литературы

1. Циннер, К. Наддув двигателей внутреннего сгорания / К. Циннер / пер. с нем. В.И. Федышина; под ред. Н.Н. Иванченко. – Л.: Машиностроение, 1978. – 264 с.
2. Соболенко, А.Н. Обобщенный теоретический цикл шеститактного ДВС и его частные случаи подвода теплоты / А.Н. Соболенко // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – Т. 33. – С. 55–61.
3. Ваншейдт, В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт. – Л.: Судостроение, 1977. – 390 с.

Сведения об авторе: Соболенко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: sobolenko_a@mail.ru.