

бескавитационной работы. Предложена методика расчета базовых параметров всасывающей способности конкретной насосной установки с учетом введения индивидуального поправочного множителя на величину критического кавитационного запаса.

Ключевые слова: высоконапорный насос, кавитация, всасывающая способность, кавитационный запас, кавитационный коэффициент быстроходности, насосная установка, коэффициент кавитации

The article discusses the conditions for the occurrence of cavitation in high-pressure pumps.

The regularities of changes in their cavitation characteristics were studied taking into account the features of existing pumping stations, conditions and modes of operation, and on this basis, the justification of the cavitation-free operation parameters was given. A method of calculating the basic parameters of the suction capacity of a particular pumping unit is proposed, taking into account the introduction of an individual correction factor for the critical cavitation reserve.

Keywords: high-pressure pump, cavitation, suction capacity, cavitation reserve, cavitation speed ratio, pumping unit, cavitation coefficient.

УДК 621.436

ГУЩИН А.М., к.т.н., доцент (Донецкий институт железнодорожного транспорта)
РЯБКО Е.В., к.т.н., доцент (Донецкий институт железнодорожного транспорта)
БОНДАРЬ А.А., инженер

Исследование политропного процесса в цилиндре ДВС

Gushchin A.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (DRTI)
Ryabko E.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (DRTI)
Bondar A.A., engineer

Research of the polytropic process in the cylinder of combustion engine

Введение

Стандартное понятие политропного процесса, принятое в термодинамике, включает в себя такой термодинамический процесс, при котором удельная массовая теплоемкость рабочего тела C_n в процессе не изменяется и, соответственно, показатель политропы « n » в термодинамическом процессе остается неизменным. Реализация такого процесса возможна только при

подведении или отведении теплоты к рабочему телу в определенном режиме.

В термодинамических процессах, имеющих место в ДВС, подведение теплоты к рабочему телу зависит от ряда факторов, в том числе от динамики процесса сгорания топлива, от интенсивности потерь теплоты в стенки цилиндра, изменение массы газов в цилиндре. Следовательно, в реальных процессах в цилиндрах ДВС следует ожидать изменчивость показателя политропы в отдельных тактах процесса.

Знание закономерности изменения показателя политропы « n » позволит более точно описывать термодинамические процессы в цилиндрах, что и послужило основанием для исследования этого вопроса.

Анализ последних исследований и публикаций

Для приближенного описания термодинамических процессов в цилиндрах ДВС в тактах расширения газов, в тактах сжатия, заряда свежего воздуха принимается среднее значение показателя политропы [1, 2].

Значение показателя политропы « n » находится в этих случаях экспериментальными методами. При этом, по найденным значениям « n » можно достаточно точно определить конечные параметры газа, однако с такой же точностью нельзя установить промежуточные состояния рабочего тела. Неточное описание термодинамического процесса приводит к соответствующей ошибке при определении работы процесса, поскольку она зависит не только от начального и конечного состояния рабочего тела, но и от характера термодинамического процесса [3].

Для определения текущего (промежуточного в процессе) значения показателя политропы в работе [4] предложена зависимость:

$$n = -\frac{V}{P} \cdot \frac{dP}{dV}, \quad (1)$$

где P – давление газов в цилиндре;

V – объем цилиндра.

Фактические значения показателя политропы « n » можно получить, если использовать индикаторную диаграмму P - V , полученную с помощью приборов,

измеряющих давление P в функции объема цилиндра, или в функции от угла поворота коленчатого вала $P = f(\varphi)$.

Если используется в качестве исходной зависимость $P = f(\varphi)$, то формула (1) примет вид:

$$n = -\frac{V}{P} \cdot \frac{dP}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dV}. \quad (2)$$

В последней формуле величина $dP / d\varphi$ определяется из индикаторной диаграммы $P = f(\varphi)$, а величина $dV / d\varphi$ должна находиться аналитическим путем, решая задачу кинематики кривошипно-шатунного механизма (КШМ).

Цель работы

На примере конкретной индикаторной диаграммы P - V изучить изменчивость показателя политропы с использованием известной зависимости его определения для текущего значения объема цилиндра.

Основной материал

Для оценки пределов изменения показателей политропы « n » в термодинамическом цикле и характера его изменчивости по углу поворота коленчатого вала используем индикаторную диаграмму двигателя 6ЧН25/34-2, опубликованную в работе [5].

На диаграмме (рис. 1) выделим ряд точек и определим в них координаты давления P и объема цилиндра V . Значения этих координат приведены в табл. 1.

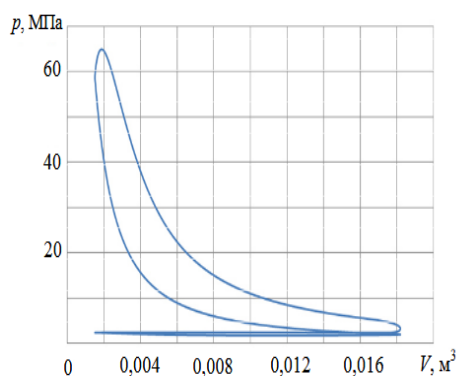


Рис. 1. Рабочий цикл двигателя 6ЧН25/34-2 в осях P - V

По данным Таблицы 1 определены промежуточные величины ΔV , V_{cp} , ΔP , P_{cp} , градиенты $\Delta P/\Delta V$, а по формуле (1) определяем значения показателя

политропы для отдельных расчетных участков. Значения этих величин приведены в Таблице 2.

Таблица 1

Исходные данные для определения показателя политропы «п»

Номера точек на диаграмме P-V	1	2	3	4	5	6	7
Объем цилиндра, м ³	0,018	0,016	0,014	0,012	0,01	0,008	0,006
Давление, МПа	1,8	2,15	2,5	3,2	4	5,5	9

Продолжение 2 Таблицы 1

Номера точек на диаграмме P-V	8	9	10	11	12	13	14
Объем цилиндра, м ³	0,005	0,004	0,003	0,0025	0,002	0,001875	0,00175
Давление, МПа	11,5	15,5	23	30	40	47	58,5

Продолжение 3 Таблицы 1

Номера точек на диаграмме P-V	15	16	17	18	19	20	21
Объем цилиндра, м ³	0,0017	0,002	0,0025	0,003	0,004	0,005	0,006
Давление, МПа	65	64,5	59	52	38	28	22

Продолжение 4 Таблицы 1

Номера точек на диаграмме P-V	22	23	24	25	26	27	28
Объем цилиндра, м ³	0,008	0,01	0,012	0,014	0,016	0,017	0,018
Давление, МПа	15	11	8,5	8,0	6	5,5	4

Таблица 2

Расчетные данные о градиенте давления $\Delta P/\Delta V$ и показателе политропы «n»

Расчетные участки	$\Delta V, м^3$	$V_{cp}, м^3$	$\Delta P, МПа$	$P_{cp}, МПа$	$\Delta P/\Delta V, МПа/м^3$	$n = -\frac{V_{cp}}{P_{cp}} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}$
1	2	3	4	5	6	7
1-2	-0,002	0,017	0,3	1,95	-150	1,31
2-3	-0,002	0,015	0,4	2,3	-200	1,3
3-4	-0,002	0,013	0,6	2,8	-300	1,39
4-5	-0,002	0,011	0,9	3,55	-450	1,39
5-6	-0,002	0,009	1,5	4,75	-750	1,42
7-8	-0,002	0,007	3,5	7,25	-1750	1,4
8-9	-0,001	0,0055	2,5	10,25	-2500	1,34
9-10	-0,001	0,0045	4,0	13,5	-4000	1,33
10-11	-0,001	0,0035	7,5	19,25	-7000	1,36
11-12	-0,0005	0,00275	7,0	26,5	-14000	1,45
12-13	-0,0005	0,00225	10	35,0	-20000	1,285
13-14	-0,00025	0,001875	7	43,5	-33333	1,2
14-15	-0,000125	0,001812 5	11,5	52,75	63444	-2,18
15-16	0,0003	0,0015	7	61,5	23333	-0,59
16-17	0,0003	0,00185	-0,5	64,75	-1666	0,047
17-18	0,0005	0,00225	-5,5	61,75	-11000	0,4

Продолжение Таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
18-19	0,0005	0,00275	-7	55,5	-14000	0,69
19-20	0,001	0,0035	-14	45,0	-14000	1,09
20-21	0,001	0,0045	-10	33,0	-10000	1,36
21-22	0,001	0,0055	-5,5	25,25	-5500	1,32
22-23	0,002	0,007	-7,5	18,75	-3750	1,4
23-24	0,002	0,009	-4,0	13,0	-2000	1,38
24-25	0,002	0,011	-2,5	9,75	-1250	1,41
25-26	0,002	0,013	-1,0	8,0	-769	1,25
26-27	0,002	0,015	-1,5	6,75	-650	1,66
27-28	0,001	0,0165	-0,5	5,75	-500	2,63
28-29	0,001	0,0175	-1,0	4,5	-1000	3,89

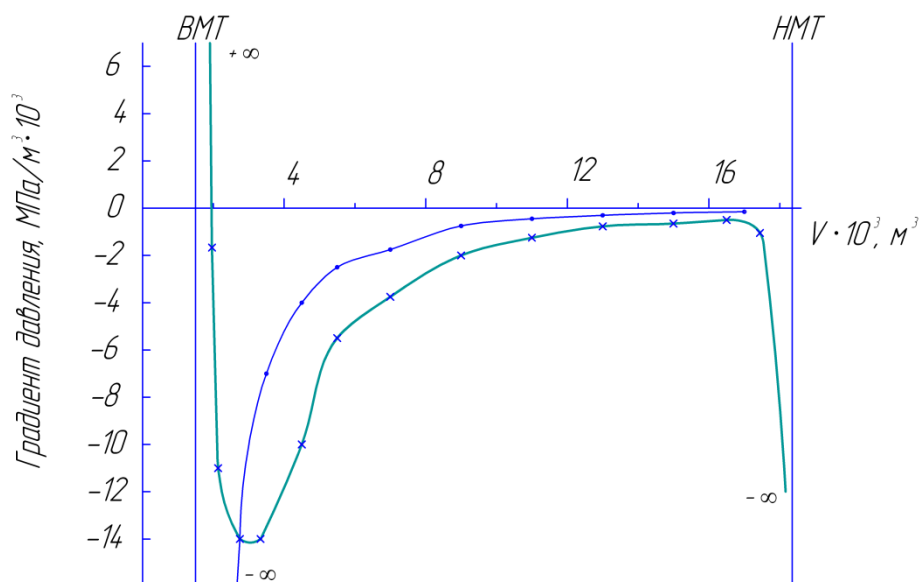


Рис. 2. Изменение градиентов давления в цилиндрах двигателя 6ЧН25/34-2

Из рис. 2 видно, что в такте сжатия при движении поршня от положения НМТ примерно до середины цилиндра градиент давления $\Delta P/\Delta V$ изменяется незначительно, а далее значение его уменьшается достаточно плавно до значения $-\infty$ при положении градиента в ВМТ.

По более сложной зависимости изменяется градиент давления в такте сжатия.

На участке от ВМТ до точки с давлением P_z градиент давления

уменьшается от $+\infty$ до нуля. При дальнейшем движении поршня значение этого градиента снижается примерно до -16000 МПа/м^3 , а затем увеличивается до -500 МПа/м^3 , а при приближении к НМТ стремится к $-\infty$.

По данным Таблицы 2 построен график изменения показателя политропы «n» по объему цилиндра V.

По данным Таблицы 2 построен график изменения показателя политропы «n» по объему цилиндра V.

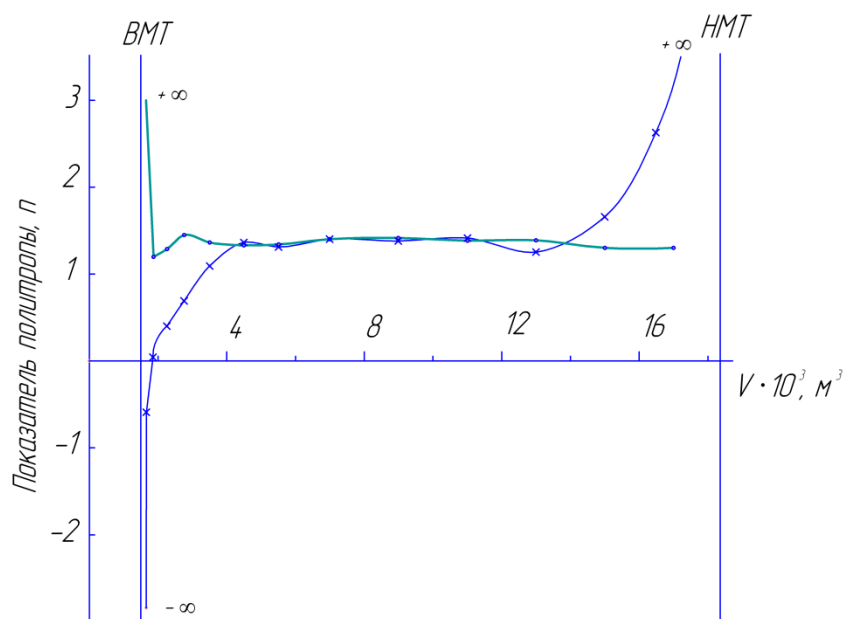


Рис. 3. Изменение показателя политропы рабочего тела в цилиндре ДВС 6ЧН25/34-2

Характерные особенности изменения показателя политропы «n» видны из рис. 3. Основные из них:

- показатели политропы как такте сжатия, так и в такте расширения изменяются в пределах от $+\infty$ до $-\infty$, при этом крайние значения показателя имеют место при нахождении поршня в положении ВМТ и НМТ;

- в процессе сжатия на основной части диаграммы значения показателя политропы колеблются вокруг значения $n=1,37$, меньшие, чем показатель

адиабаты $\kappa=1,4$, что говорит о том, что в такте сжатия от сжимаемого рабочего тела (воздуха) теплота отводится [3]. При уменьшении объема цилиндра V, то есть при подходе поршня к ВМТ значение показателя политропы резко возрастает и стремится к $+\infty$. Такая закономерность вытекает из того, что в ВМТ изменение объема ΔV равно нулю, а значение градиента давления dP/dV будет стремиться к бесконечности;

- в такте сжатия показатель политропы изменятся от $-\infty$ до $+\infty$. При

этом отрицательные значения показателя политропы имеют место на отрезке объема цилиндра от ВМТ до значения объема, в котором давление достигает максимального значения (P_Z);

- в такте сжатия при изменении объема цилиндра от его значения при давлении P_Z до значения $V = 0,0045 \text{ м}^3$ показатель политропы $n = 1,37$. Рост показателя политропы в этом случае можно объяснить выделением теплоты горения топлива [3];

- в такте сжатия при приближении поршня к НМТ значение показателя политропы стремится к $+\infty$, так как в НМТ изменение объема $dV = 0$;

- в такте сжатия при изменении объема от 0,0145 до 0,017 м^3 имеет место увеличение показателя политропы, что можно объяснить снижением давления в цилиндрах вследствие открывания выпускного клапана при подходе поршня к НМТ.

Вывод

С использованием известной индикаторной диаграммы $P-V$ определены значения градиентов давления dP/dV и значения показателя политропы $\langle n \rangle$. При этом на большей части объема цилиндра значения показателя политропы в такте сжатия, так и в такте расширения расчетные значения показателя политропы изменились мало и составили $n = 1,37$.

В такте расширения значение показателя политропы в ВМТ равно $-\infty$, оно остается отрицательным до увеличения объема цилиндра до значения P_Z . При дальнейшем увеличении объема цилиндра до значения $V = 0,0045 \text{ м}^3$ значение показателя политропы возрастает от нуля до значения $n = 1,37$, а при

значении $\langle n \rangle$ от 0,0045 до 0,017 оно остается практически неизменным.

Примечание. В подготовке статьи принимала участие специалист Гвоздецкая Антонина Ивановна.

Список литературы:

1. Двигатели внутреннего сгорания (тепловозные двигатели и газотурбинные установки). Учебник Симсон А.Э., Хомич А.З. и др. – М., транспорт, 1980. – 384 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Иванов и др. Под общ. ред. А.С. Орлика, М.Г. Круглова. 3-е изд. перedel. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
3. Теплотехника. Учебник для механических специальностей железнодорожного транспорта. / В.М. Тареев, Г.А. Матвеев, С.Н. Григорьев. Государственное транспортное железнодорожное издательство. – М.: 1951. – 716 с.
4. Ерыганов, А.В. Определение степени сжатия дизеля по результатам индицирования рабочего процесса / А. В. Ерыганов, Н. И. Александровская, Р. А. Варбанец // Вестник АГТУ сер.: Морская техника и технология. 2007. – №1. – С. 44-47.
5. Ерыганов, А.В. Расчет энтропии рабочего тела в цилиндре дизеля / А. В. Ерыганов, Н. И. Александровская, Р. А. Варбанец // Вестник АГТУ сер.: Морская техника и технология. 2007. – №2. – С. 54-58.

Аннотации:

На примере индикаторной диаграммы двигателя 6ЧН25/34-2 рассчитаны значения

показателя политропы для промежуточных значений объема цилиндра для тактов сжатия и расширения газов в цилиндре ДВС. Показано, что вблизи положений поршня в ВМТ и НМТ значения показателя политропы равны $\pm \infty$, в средней части хода поршня значения показателя политропы как для такта сжатия, так и для такта расширения составляют примерно 1,37.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, индикаторная диаграмма, коэффициент политропы, градиент давления.*

Using the indicator diagram of the 6CH25/34-2 engine as an example, the values of

the polytropic index are calculated for the intermediate values of the cylinder volume for the compression and expansion cycles of the gases in the cylinder of the internal combustion engine.

It is shown that near the piston positions in the UDP and the LDP point the polytropic index values are equal $\pm \infty$, in the middle part of the piston stroke, the polytropic index values for both the compression stroke and the expansion tact are approximately 1.37

Keywords: *internal combustion engine, indicator diagram, polytropic index, pressure gradient.*