

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию
Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева

ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА

Методические указания к курсовому проекту

Составитель Ж. Е. Шум

УДК 621. 01(075)

Индикаторная диаграмма: Метод. указания к курсовому проекту / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. Ж. Е. Шум. Самара, 1994. 12 с.

Индикаторная диаграмма предназначена для определения давления газов в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания в соответствии с его рабочими тактами и давления на поршень двухступенчатого компрессора.

Методические указания предназначены для студентов всех факультетов, выполняющих курсовую работу по теории машин и механизмов, дневного и вечернего отделений.

Подготовлены на кафедре «Основы конструирования машин».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва

Рецензент доц. Д. В. Каршин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ

При кинетостатическом исследовании машин и механизмов необходимо учитывать внешние силы, возникающие в процессе работы. Они разделяются на *движущие силы, силы технологического сопротивления и силы инерции*, появляющиеся в результате движения звеньев с ускорением.

Во многих случаях действующие внешние силы можно выразить математически. Однако, некоторые процессы не поддаются математическому анализу. В этих случаях при проектировании новых машин используют данные опытов, проведенных в условиях, аналогичных условиям работы проектируемой машины.

К таким машинам относятся двигатели внутреннего сгорания, компрессоры, паровые машины. Следует заметить, что в отличие от таких машин как паровая, двигатель внутреннего сгорания, где рабочее тело (пар или газовая смесь), произведя работу, отдает энергию, в компрессорах энергия двигателя передается сжимаемому телу (воздуху или газу), т.е. на сжатие затрачивается мощность.

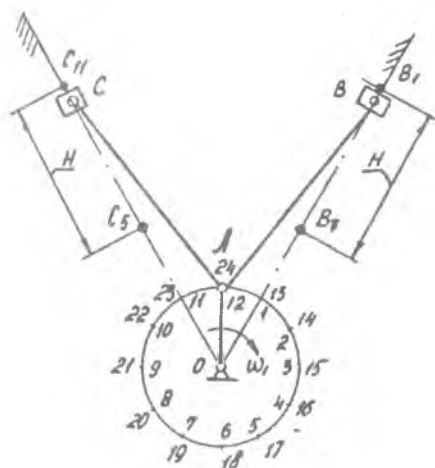
Закон изменения давления газов в цилиндре зависит от положения поршня и задается диаграммой, называемой индикаторной.

Определим давление газов в цилиндре при различных положениях поршня на примере работы *V*-образного двигателя внутреннего сгорания и компрессора. При этом необходимо учесть, что работа силы положительна, если направление силы и скорости точки ее приложения совпадают или образуют с ней острый угол.

Для двухцилиндрового четырехтактного двигателя внутреннего сгорания (рис. 1) закон изменения давления газов в цилиндре

задается индикаторной диаграммой - зависимостью удельного давления газов в цилиндре от хода поршня (рис. 2).

Для согласования работы левого и правого цилиндра обратимся к циклограмме двигателя внутреннего сгорания (рис. 3).



Р и с. 1. Схема механизма двигателя внутреннего сгорания

В четырехтактном двигателе внутреннего сгорания рабочий цикл совершается за два оборота кривошипа - коленвала двигателя.

При движении поршня из верхнего мертвого в нижнее мертвое положение, которое совершается за первую половину оборота коленвала, происходит такт всасывания горючей жидкости, за вторую - сжатие, затем расширение воспламененной смеси (рабочий ход) и такт выхлопа

отработанных газов.

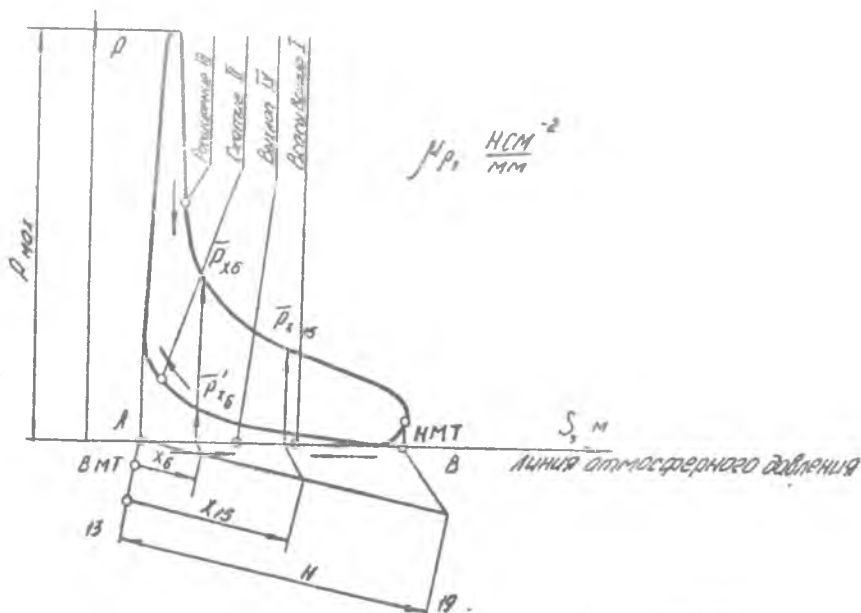
В положении механизма 24, представленного на рис. 1, в левом цилиндре происходит всасывание, а в правом цилиндре - сжатие рабочей смеси. В тактах циклограммы для левого и правого цилиндров проставлены номера соответствующих им положений кривошипа.

Для левого цилиндра ветвь I такта всасывания (рис. 2) на индикаторной диаграмме соответствует положениям кривошипа с двадцать третьего по пятое, ветвь II такта сжатия - положениям 5-11, ветвь III такта рабочего хода соответствует 11-17 положениям кривошипа, а ветвь IV такта выхлопа - 17-23 положениям ведомого звена - коленвала.

Одновременно для правого цилиндра кривая I соответствует положениям кривошипа 13-19, кривая II - положениям 19-1, кривая III - положениям 1-7, кривая IV - положениям 7-13.

Определение сил давления газов необходимо произвести отдельно для каждого цилиндра в зависимости от такта и положения

механизма. Направление сил давления газов для рабочего хода совпадает с направлением хода поршня, т. к. работа сил давления газов положительна. Для отдельных тактов работа сил давления газов не совпадает с направлением скорости, т. к. эта работа отрицательна.



Р и с. 2. Индикаторная диаграмма двигателя внутреннего сгорания

	23	5	11	15	17	23	
Левый цилиндр	всасывание	сжатие	рабочий ход	выпуск			120°
Правый цилиндр	рабочий ход	выпуск	всасывание	сжатие			720°
	1	7	13	19		1	

Р и с. 3. Циклограмма двигателя внутреннего сгорания

Масштаб индикаторной диаграммы μ_p определяется по заданному максимальному удельному давлению P_{\max} как отношение P_{\max} к отрезку максимальной ординаты индикаторной диаграммы \bar{P}_{\max} на рис. 2.

Давление газов на поршень определится как произведение удельного давления на площадь поршня, диаметр которого известен.

Пользуясь диаграммой $[P, S]$, можно определить работу, произведенную расширяющимися газами. Если пренебречь работой, затрачиваемой двигателем на всасывание и выхлоп газовой смеси, то приближенно работа двигателя за цикл установившегося движения пропорциональна площади, ограниченной замкнутой кривой, образуемой индикаторной диаграммой.

Используя индикаторную диаграмму, можно определить среднюю индикаторную мощность, т.е. мощность, развиваемую силой давления газов. Если частота вращения кривошипа в минуту n , то время цикла работы двигателя, соответствующее двум оборотам коленвала, представлено в виде

$$T = 2 \frac{60}{n}.$$

Мощность определяется отношением работы за цикл установившегося движения ко времени цикла. Если измерить ее в лошадиных силах, то средняя индикаторная мощность

$$N_i = \frac{A}{75 T} = \frac{A \cdot n}{75 \cdot 2 \cdot 60}.$$

Примечание. Для удобства пользования индикаторной диаграммой ее масштаб приводится к масштабу плана механизма. Для этого из точки индикаторной диаграммы под произвольным углом проводится прямая, на которой откладывается ход поршня с плана механизма. Это дает возможность, пользуясь свойством подобия, определить на индикаторной диаграмме удельные давления, соответствующие любым положениям поршня.

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ НА ПОРШЕНЬ V-ОБРАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Допустим, что определяется давление газов на поршень для механизма в положении 15 (рис. 1). Для левого цилиндра, судя по циклограмме, это такт расширения, а для правого - всасывания. Для правого цилиндра в такте всасывания давление практически не превышает атмосферного и поэтому избыточное над атмосферным давление газа отсутствует, т. е. $P=0$. Для левого цилиндра удельное давление газов соответствует перемещению x_{15} от верхней мертвой точки и находится по ветви III индикаторной диаграммы. Для определения давления газов на поршень снимаем

удельное давление $P_{x_{15}}$ с чертежа индикаторной диаграммы и вычисляем давление

$$P = P_{x_{15}} \mu_p \frac{\pi d^2}{4} \text{ Н.}$$

Определим давление газа, действующее на поршни левого и правого цилиндров для положения механизма б. Для левого цилиндра это такт сжатия, а для правого - рабочий ход. Для левого цилиндра удельное давление соответствует \bar{P}_{x_6} ветви II такта сжатия, а для правого \bar{P}_{x_6} - ветви III такта рабочего хода.

Давление газов на поршни левого и правого цилиндров вычисляются по формулам:

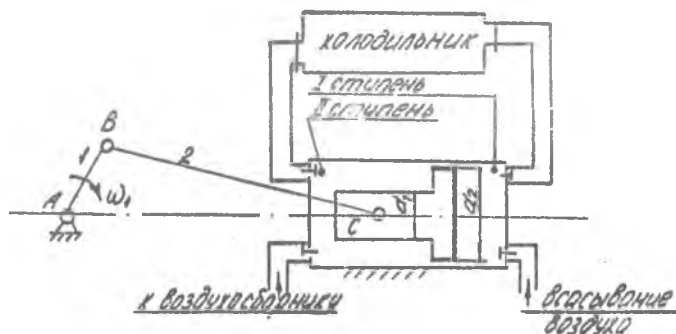
$$P'_6 = \bar{P}'_{x_6} \mu_p \frac{\pi d^2}{4} \text{ Н,}$$

$$P_6 = \bar{P}_{x_6} \mu_p \frac{\pi d^2}{4} \text{ Н.}$$

При работе компрессоров необходимо учитывать, что процессы сжатия рабочего тела сопровождаются значительным повышением температуры. Выделяемое тепло передается деталям компрессоров и не способствует их нормальной работе. В связи с этим приходится

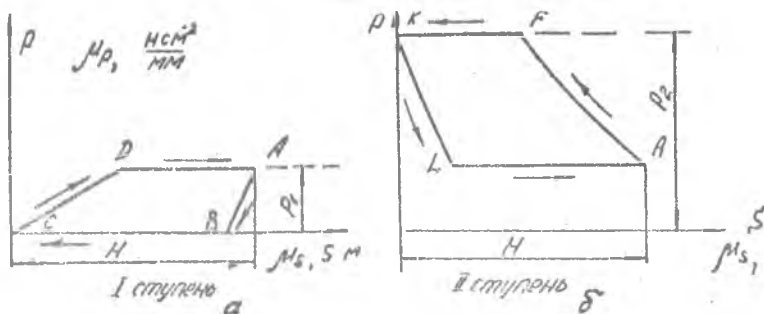
осуществлять сжатие до высокого давления ступенчато, с промежуточным охлаждением. Ступенчатость достигается или параллельным соединением ряда цилиндров, или наличием в одном цилиндре разных полостей.

Рассмотрим газовые процессы на примере работы компрессора со ступенчатым поршнем (рис. 4).

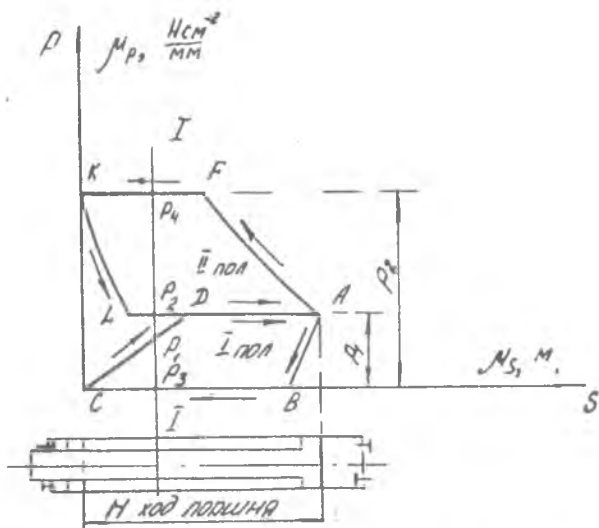


Р и с. 4. Компрессор

Если совместить (рис. 5) индикаторные диаграммы полости низкого и высокого давлений, то получим индикаторную диаграмму компрессора двухстороннего действия (рис. 6). Стрелки на индикаторной диаграмме соответствуют направлению скорости поршня компрессора.



Р и с. 5. Индикаторные диаграммы I и II ступеней



Р и с. 6. Совмещенная индикаторная диаграмма компрессора

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ПОРШЕНЬ КОМПРЕССОРА

Для нахождения давления воздуха в положении поршня I необходимо определить направление скорости поршня в положении I . Если скорость поршня направлена слева направо, то необходимо снимать удельное давление для правой полости P_1 на ветви CD , а для левой полости P_2 - на ветви LA .

Для определения давлений в полостях необходимо удельное давление умножить на площадь поршня, при этом надо учитывать, что площадь поршня левой полости кольцевая. Направление суммарной нагрузки на поршень будет зависеть от разности давлений в полостях I и II . Результирующее давление

$$P = P_1 - P_2 = P_1 \mu_p \frac{\pi d_1^2}{4} - P_2 \mu_p \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2).$$

При этом μ_p - масштаб индикаторной диаграммы. Он вычисляется аналитически по заданному максимальному удельному давлению P_{\max} (на чертеже индикаторной диаграммы представлен отрезком $\overline{КС}$).

Имеем

$$\mu_p = \frac{P_{\max} H c^{-2}}{K C_{\text{мм}}}$$

Если скорость поршня направлена справа налево, то удельное давление p_3 надо снимать для правой полости на ветви CB , а для левой полости p_4 на ветви KF .

Полное давление

$$P = P_1 - P_2 = p_3 \mu_p \frac{\pi d_1^2}{4} - p_4 \mu_p \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2).$$

В компрессоре этого типа сжимается воздух в полости I до давления p_1 первой ступени, после чего он подается в холодильник и, охлажденный, попадает в полость II, где сжимается до давления p_2 , которое является рабочим. Промежуточное охлаждение уменьшает затраты мощности на сжатие и уменьшает выгорание масла со стенок цилиндра.

Графическое изображение зависимости удельного давления воздушного компрессора от положения в цилиндре по ступеням представлено на индикаторной диаграмме (рис. 5).

Рассмотрим циклы работы компрессора. При движении поршня справа налево объем полости I (рис. 5, а) увеличивается, давление в полости падает до атмосферного, чему соответствует участок AB индикаторной диаграммы, а затем идет процесс всасывания воздуха из атмосферы через открывающийся клапан (участок диаграммы BC). При обратном ходе поршня воздух сжимается до максимального давления первой ступени p_1 (ветвь CD) и затем выталкивается в холодильник (участок DA), давление в котором также равно p_1 . Газовые процессы левой полости компрессора представлены на индикаторной диаграмме полости высокого давления (рис. 5, б).

В левой полости II площадь поршня имеет кольцевую форму. При крайнем правом положении поршня левая полость находится под давлением P_1 охлажденного воздуха. При движении поршня влево давление воздуха повышается до величины P_2 (процесс AF на индикаторной диаграмме), и при этом давлении сжатый воздух выталкивается в воздухохоборник, где и хранится (ветвь FK). Клапан воздухохоборника закрывается, и поршень, перемещаясь вправо, позволяет воздуху расшириться до давления p_i , охлаждая при этом воздух (ветвь KL). Продолжая движение до исходного правого положения, поршень засасывает воздух из холодильника с давлением P_1 (процесс LA).

Удельное давление p_3 равно нулю. Суммарное давление P в данном случае определяется только давлением в левой полости.

Итак, пользуясь индикаторной диаграммой, можно подсчитать давление в полостях и силы, действующие на поршень в любом его положении.

ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА

Составитель Шум Жанна Ефимовна

**Редактор Г. И. Кузнецова
Техн. редактор Г. А. Усачева
Корректор В. М. Измайлова**

Лицензия ЛР N 020301 от 28.11.91.

Подписано в печать 20.05.94. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 0,7. Усл.кр.-отт. 0,8. Уч.-изд.л. 0,72.
Тираж 200 экз. Заказ 212. Арт. С-55 мр/94.

Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного аэрокосмического
университета им. академика С. П. Королева.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.