

## ПРИБОР ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАЗВЕРНУТЫХ ИНДИКАТОРНЫХ ДИАГРАММ

С. И. ШУБОВИЧ

Исследование рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания связано, как правило, с индицированием, т. е. с записью изменения давления в цилиндре двигателя по ходу поршня, по углу поворота кривошипа или по времени.

Индицирование тихоходных двигателей производится обычно механическими пружинными индикаторами, дающими индикаторные диаграммы по ходу поршня. Индицирование же быстроходных двигателей производится обычно более сложными индикаторами стробоскопического (пневмо-электрические индикаторы) или электрических типов (пьезокварцевые, емкостные, индуктивные и т. п. индикаторы с осциллографом). Стробоскопические и электрические индикаторы дают диаграммы по углу поворота кривошипа или по времени, т. е. так называемые развернутые диаграммы.

По диаграммам, снятым по ходу поршня, можно непосредственным их измерением определить целый ряд параметров и показатели рабочего процесса, в том числе и среднее индикаторное давление цикла  $p_i$ , которое является одной из главных характеристик рабочего цикла в целом.

Развернутые диаграммы, представляющие зависимость давления в цилиндре от угла поворота кривошипа или от времени, особо удобны для анализа процесса сгорания в цилиндре (определение жесткости сгорания и т. п.). Однако подсчет по этим диаграммам среднего индикаторного давления затруднителен. Для определения среднего индикаторного давления, а также и показателей политроп сжатия и расширения, развернутую диаграмму необходимо перестроить в диаграмму по ходу поршня.

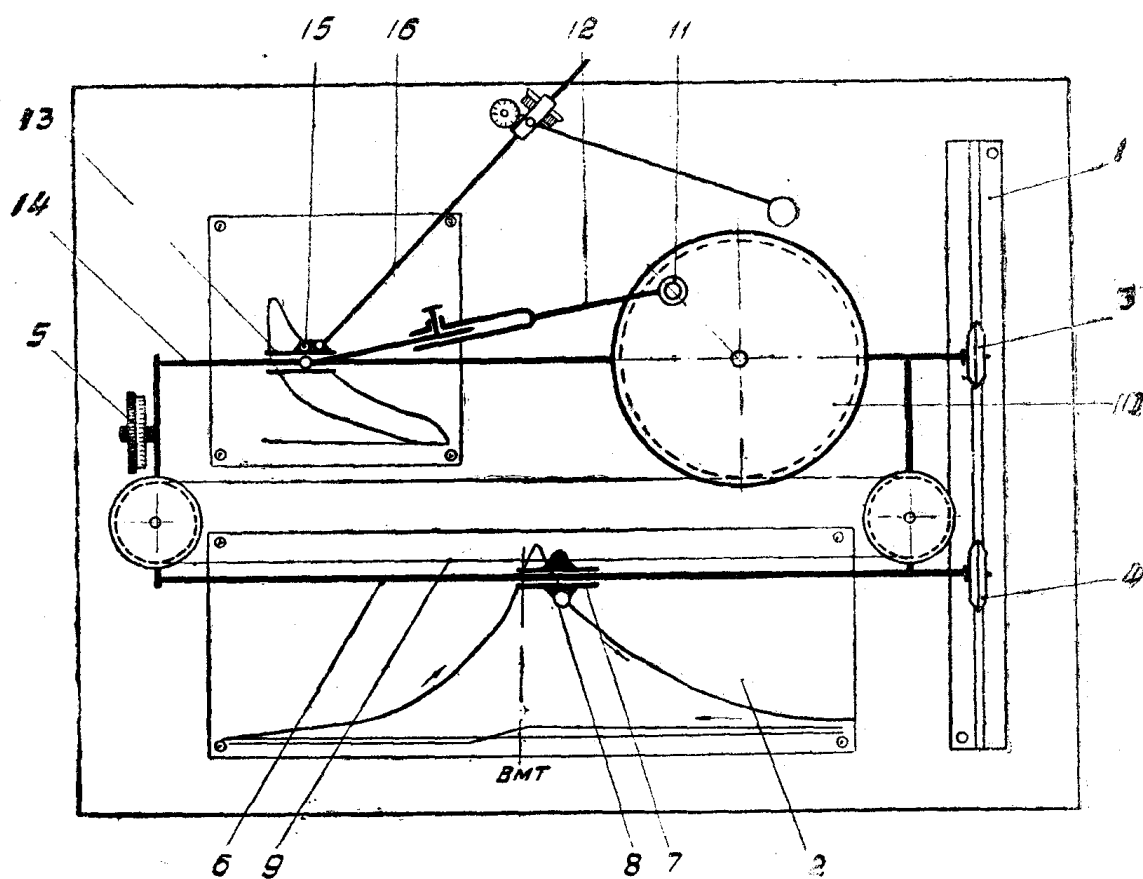
Известные способы перестроения развернутых диаграмм [1; 2] в диаграммы по ходу поршня громоздки и не лишены погрешностей, которые возникают при проведении необходимых вычислений и графических построений, а поэтому получаемые результаты не могут претендовать на высокую точность. Обработка таких диаграмм связана с значительной затратой времени. Это исключает обычно возможность проведения обработки их во время испытания двигателя, что создает известные неудобства в проведении испытаний.

Автором настоящей статьи предложен и сконструирован, а лабораторией двигателей внутреннего сгорания Томского политехнического института им. С. М. Кирова изготовлен специальный прибор, получивший условное название „диаграммометр“. Этот прибор позволяет механизировать и этим в значительной мере ускорить процесс перестройки развернутой индикаторной диаграммы в обычную диаграмму по ходу поршня.

Устройство диаграммометра можно видеть из схемы (фиг. 1) и приве-

денных фотографий (фиг. 2 и 3). На чертежной доске двумя иглами закреплена линейка 1 с продольным пазом, которая служит направляющей в перемещении прибора по вертикальной оси обрабатываемой диаграммы 2, ориентированной перед закреплением на доске относительно оси линейки 1. Рамка прибора опирается на три катка, два из которых (3 и 4) своими ребрами входят в паз линейки 1 и тем самым обеспечивают прямолинейное поступательное движение всего прибора вдоль оси ординат диаграммы. Третий каток 5, снабженный накаткой и делениями на обод, является опорным катком, но он же может быть использован для измерения ординат диаграммы, т. е. для определения величины давлений в цилиндре.

На передней стороне прибора имеется направляющая рейка 6 с кареткой 7, снабженной обводным штифтом 8. К каретке 7 прикреплена

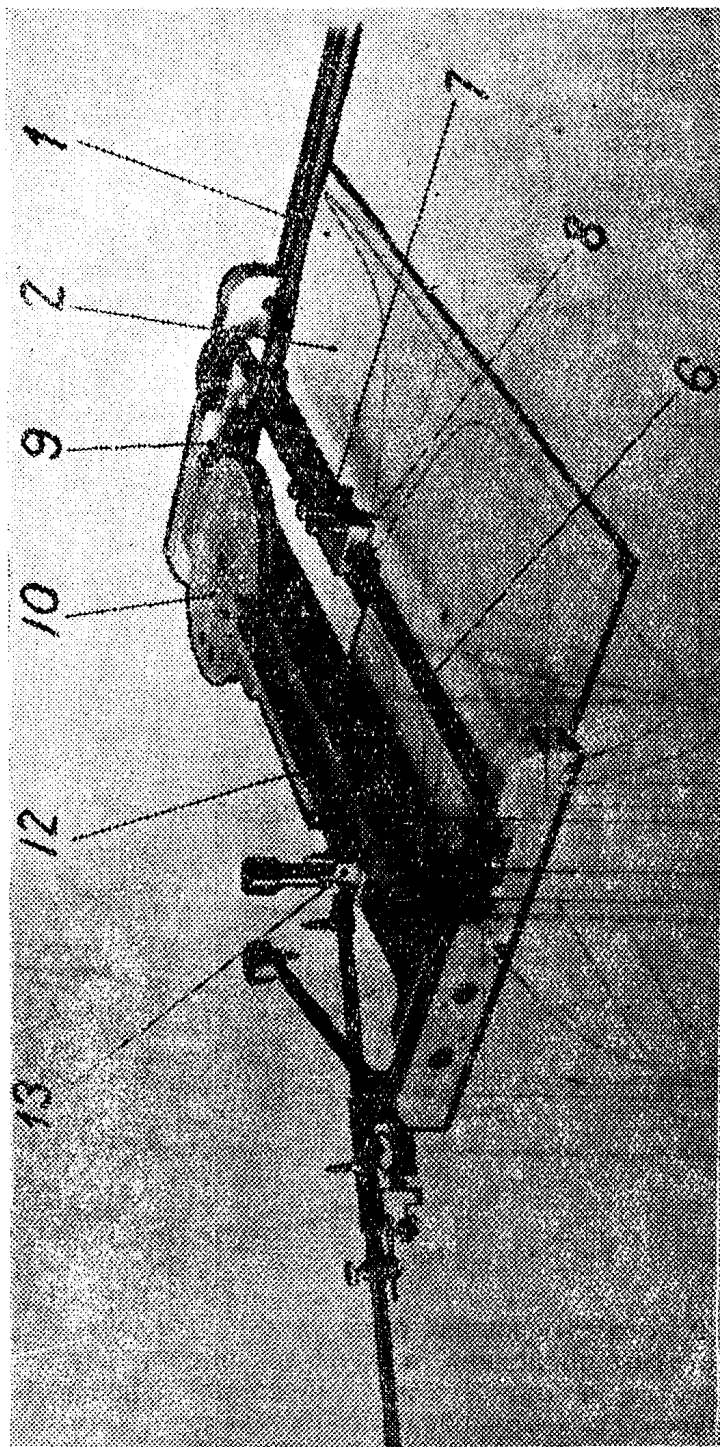


【Фиг. 1】

стальная струна 9, охватывающая обод диска 10 (для предотвращения проскальзывания струны последняя охватывает обод диска 10 двумя оборотами и закрепляется в одной точке на ободу). Диаметр обода диска 10 должен быть равен диаметру барабана индикатора, которым была снята развернутая диаграмма; тогда перемещение обводного штифта 8 вдоль оси абсцисс на некоторую величину  $x$  вызовет поворот диска 10 на угол, равный углу поворота коленчатого вала, выраженного абсциссой  $x$  на развернутой диаграмме.

Шатунно-кривошипный механизм прибора, состоящий из кривошипа 11 закрепленного на диске 10, шатуна 12, ползуна 13 и направляющей ползуна 14, преобразовывает вращательное движение диска в возвратно-поступательное движение ползуна 13, которое, при соблюдении кинемати-

ческого подобия<sup>1)</sup> кривошипных механизмов прибора и индицируемого двигателя, будет выражать в некотором масштабе движение поршня дви-

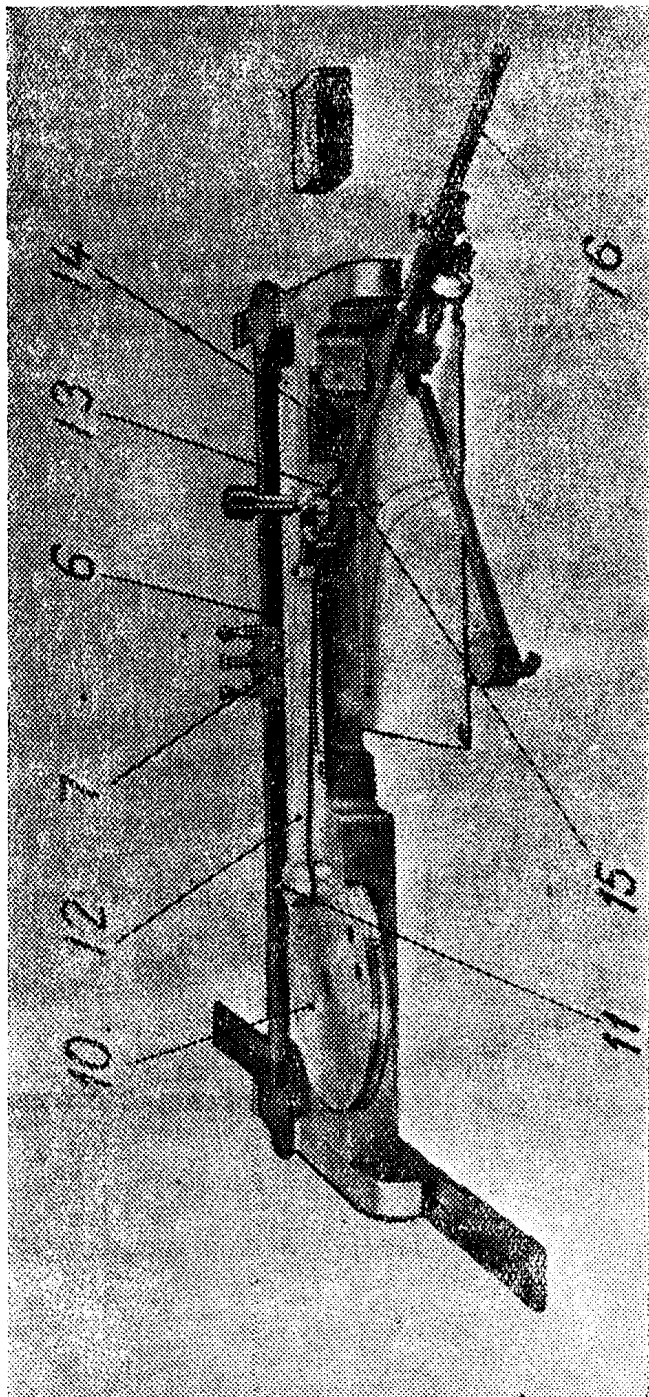


Фиг. 2

<sup>1)</sup> Для соблюдения этого кинематического подобия необходимо помощью телескопического устройства стержня шатуна 12 установить такую его длину  $l$ , чтобы обеспечивалось равенство отношений радиуса кривошипа к длине шатуна в диаграммметре и индицируемом двигателе.

$$\frac{r}{l} = \mu \text{ прибора} = \frac{R}{L} = \mu \text{ двигателя.}$$

тателя. Ползун 13 имеет карандаш в металлической оправе 15 для вычерчивания диаграммы по ходу поршня и специальное гнездо, служащее для присоединения обводного рычажка обычного полярного планиметра 16.



Фиг. 3

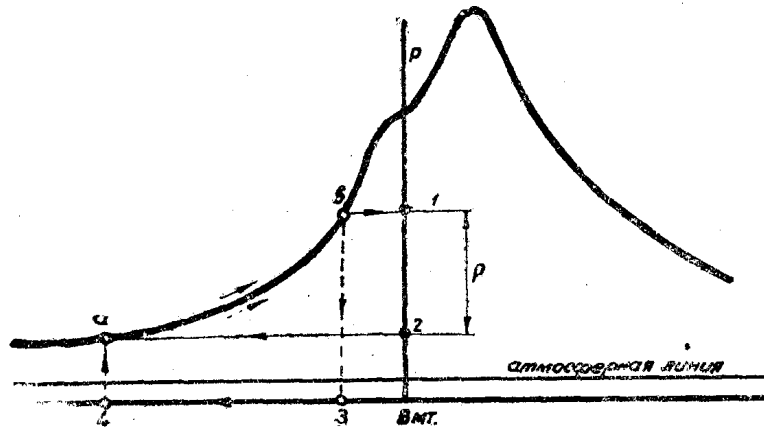
Для определения среднего индикаторного давления по развернутой диаграмме и ее перестроения по ходу поршня необходимо закрепить диаграмму на доске так, чтобы ее вертикальная ось с отметкой „верхняя мертвая точка“ совпала с осью симметрии прибора, закрепить чистый лист бумаги в поле действия карандаша 15 и обвести контур диаграммы

обводным штифтом 8. При этом карандаш 15 очертит диаграмму по ходу поршня, а разность конечного и начального показаний планиметра даст в некотором масштабе среднее индикаторное давление  $p_i$ . Как обычно, целесообразно установить длину обводного рычажка планиметра равной длине вычерчиваемой диаграммы по ходу поршня, тогда искомое среднее индикаторное давление определится по формуле:

$$p_i = \frac{\Delta \cdot C}{f} \text{ кг/см}^2, \quad (1)$$

где  $\Delta$  — разность конечного и начального показаний планиметра,  
 $C$  — постоянная планиметра,  
 $f$  — масштаб давлений (масштаб пружины индикатора).

Для определения среднего показателя политропы сжатия  $n_1$  на каком-либо участке линии сжатия достаточно обвести обводным штифтом 8 кон-



Фиг. 4

тур, ограниченный этим участком и координатными осями (фиг. 4) и вычислить искомый показатель по формуле:

$$n_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} + \frac{\bar{P}}{C(\varepsilon - 1)\Delta_2}, \quad (2)$$

где  $\Delta_1$  — разность конечного и начального показаний планиметра при обводке контура

$$a - b - 1 - 2 - a,$$

$\Delta_2$  — разность конечного и начального показаний планиметра при обводке контура

$$a - b - 3 - 4 - a,$$

$\bar{P}$  — разность давлений в точках  $b$  и  $a$ , выраженная в мм (измеряемая, например, помощью катка 5),

$\varepsilon$  — степень сжатия индицируемого двигателя,

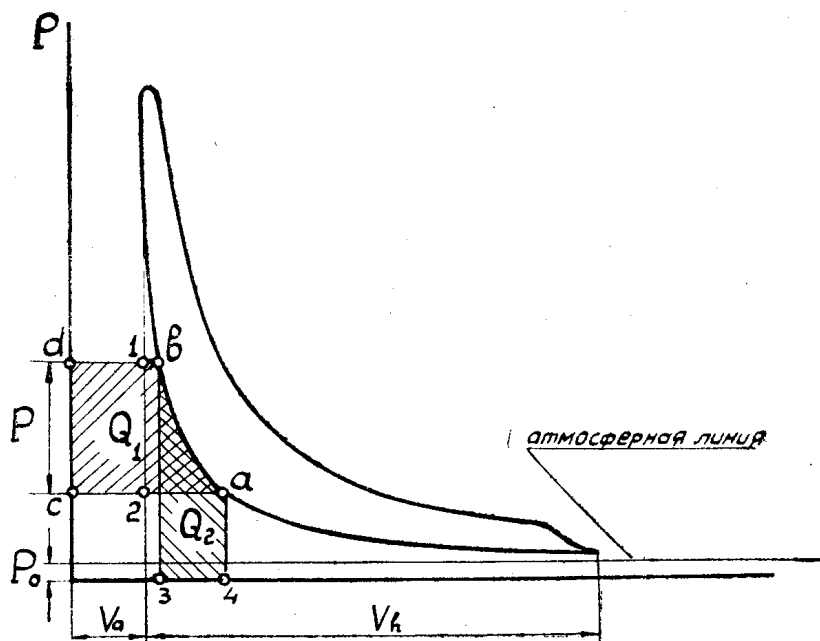
$C$  — постоянная планиметра.

Аналогичным способом может быть определен и показатель политропы расширения, с той лишь разницей, что здесь надлежит обвести штифтом контур, ограниченный интересующим участком линии расширения и теми же координатными осями.

Формула (2) выведена на основании известного способа определения показателя политропы

$$n = \frac{\int_{P_1}^{P_2} -v dp}{\int_{v_1}^{v_2} p dv} = \frac{\text{площадь } a-c-d-b-a = Q_1}{\text{площадь } a-b-3-4-a = Q_2},$$

где указанные площади (фиг. 5) находятся планиметрированием [3].



Фиг. 5

Площадь  $Q_1 (a-c-d-b-a)$  может быть представлена в виде суммы площадей:

$$Q_1 = F_1 + F_2,$$

где  $F_1$  — площадь  $a-2-1-b-a$ ,

$F_2$  — площадь  $1-2-c-d-1$ .

Площади  $F_1$  и  $F_2$  могут быть представлены в следующем виде:

$$F_1 = \Delta_1 \cdot C \cdot R$$

$$F_2 = \bar{P} \cdot \bar{V}_c = \bar{P} \cdot \frac{\bar{V}_h}{\varepsilon - 1},$$

где  $R$  — длина обводного рычага планиметра,

$\bar{V}_h$  — длина вычерчиваемой диаграммы.

Тогда

$$Q_1 = \Delta_1 \cdot C \cdot R + \frac{\bar{P} \cdot \bar{V}_h}{\varepsilon - 1} \quad (a)$$

Площадь  $Q_2$  ( $a-b-3-4-a$ , фиг. 5), аналогично площади  $F_1$ , может быть представлена в следующем виде:

$$Q_2 = \Delta_2 \cdot C \cdot R \quad (b)$$

Деля выражение (a) на (b) и принимая во внимание, что длина обводного рычага планиметра  $R$  установлена равной длине вычерчиваемой индикаторной диаграммы ( $R = \bar{V}_h$ ), получаем:

$$n_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} + \frac{\bar{P}}{C(\varepsilon - 1)\Delta_2}.$$

Диagramмометр может быть также использован и для определения скорости нарастания давления на линии сгорания  $\frac{\Delta p}{\Delta \alpha}$ , характеризующей жесткость работы двигателя. Для этого достаточно обвести обводным штифтом прибора интересующий участок линии сгорания, заметить перемещение всего прибора вдоль оси давлений по катку 5 и перемещение каретки 7 вдоль оси абсцисс по делениям на направляющей рейке 6. Делением величины перемещения прибора на величину перемещения каретки получим в некотором масштабе скорость нарастания давления  $\frac{\Delta p}{\Delta \alpha}$ .

Таким образом, диаграммометр даст возможность без излишней затраты времени на кропотливое перестроение развернутой диаграммы в диаграмму по ходу поршня получить все данные по рабочему процессу, которые обычно находят из индикаторных диаграмм. Время, необходимое для получения всех вышеперечисленных величин помощью диаграммометра, составляет всего несколько минут; поэтому обработка развернутых диаграмм при помощи описанного прибора может с успехом производиться во время испытаний двигателя, что подчас бывает необходимо для суждения о характере протекания рабочего процесса испытуемого двигателя.

Как показали исследования опытного образца прибора, выполненного в лаборатории Томского политехнического института, погрешность результатов обработки развернутых диаграмм помощью диаграммометра лежит в пределах  $\pm 2,5\%$ , что вполне удовлетворяет требованиям большинства лабораторных исследований. Имеются основания полагать, что диаграммометр может получить широкое применение в практике заводских и лабораторных испытаний и, в первую очередь, должен стать необходимой принадлежностью пневмоэлектрических индикаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Двигатели боевых машин, ч. 1 под редакцией проф. Орлина А. С. Машгиз, 1946.
2. Симанович Г. М. Испытание двигателей дизеля. ОНТИ, 1937.
3. Машиностроение, энциклопедический справочник, т. 1, книга первая, Машгиз, 1947