ПРОФ. Г. В. ТРАПЕЗНИКОВ

# ГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

## разделения площади индикаторной диаграммы паромашины двукратного расширения пара по принципу равенства начальных усилий на поршни

ТОМСК
1929

Проф. Г. В. Трапезников.

# Графические методы разделения площади индикаторной диаграммы паромашины двуктратного расширения пара по принципу равенства начальных усилий на поршни.

Из трех способов разделения площади индикаторной диаграммы паромашины двукратного расширения пара: 1) по равенству работ в обоих цилиндрах, 2) по равенству падений температур в них и 3) по равенству начальных усилий на поршни, последний, поскольку известно автору этой статьи, не имеет более или менее точного аналитического или графического решения. Автором предлагаются три новых метода такого разделения.

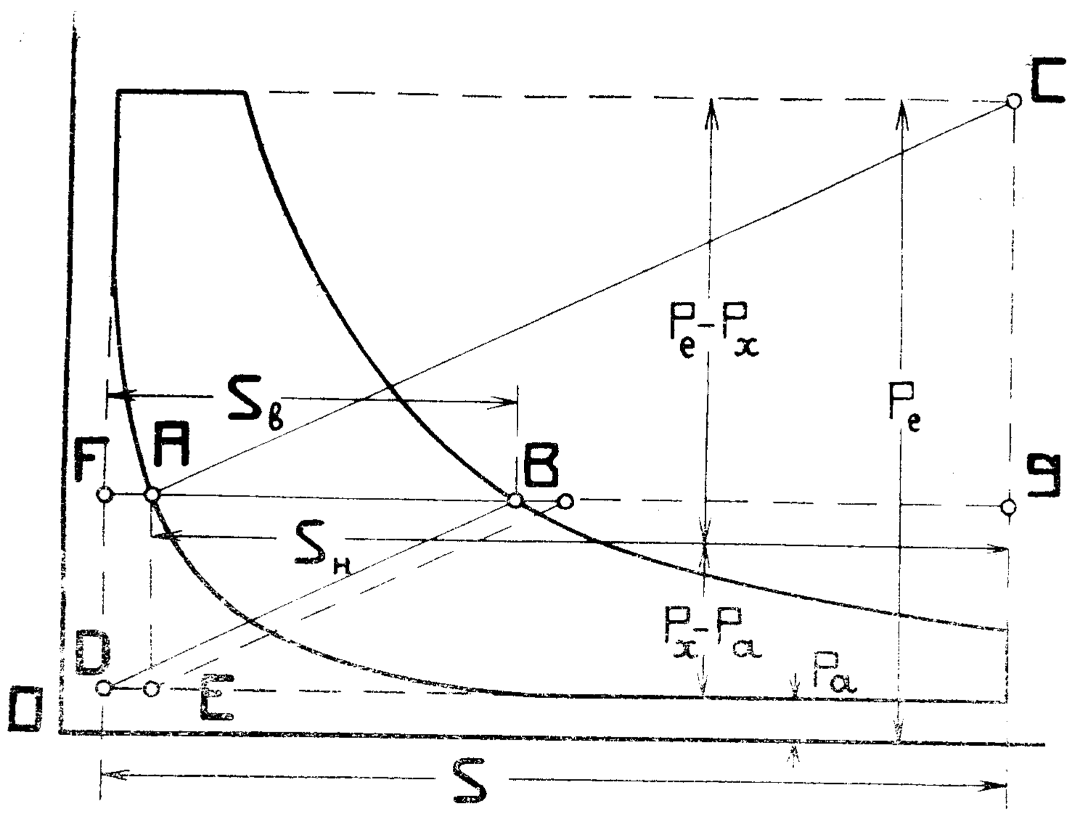
Задача такова: требуется разделить площадь теоретической индикаторной диаграммы так, чтобы:

$$P_в = P_н \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1)$$

где $P_в$ — начальное усилие на поршень в Ц. В. Д.

и $P_н$ — „ „ „ „ в Ц. Н. Д.

Пусть (черт. 1) на имеющейся индикаторной диаграмме $p_x$ — давление выпуска в Ц. В. Д. оно же является давлением впуска в Ц. Н. Д. если, при этом будет соблюдено условие (1), то это и будет давление на линии раздела диаграммы.




Черт. 1.

Называя: $p_e$ — давление впуска . . } в Ц. В. Д.
$O_в$ — площадь поршня .
$p_a$ — давление выпуска . } в Ц. Н. Д.
$O_н$ — площадь поршня .

имеем: $$P_в = P_в = (p_e - p_x)\, O_в = (p_x - p_a)\, O_н\,;$$

так как, при построении индикаторной диаграммы принимается:
$$O_в : S_в = O_н : S_н\,,$$

где $S_в$ и $S_н$ — хода поршней Ц. В. Д. и Ц. Н. Д.,

то: $$(p_e - p_x)\, S_в = (p_x - p_a)\, S_н$$

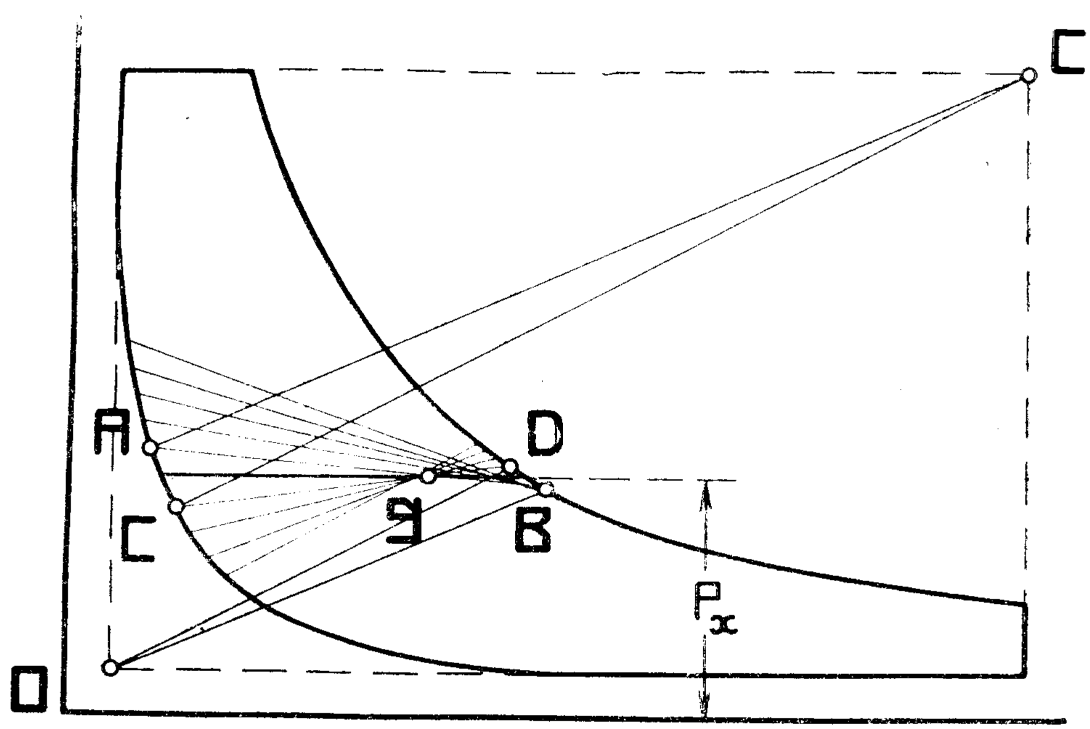
или: $$\frac{P_e - P_x}{P_x - P_a} = \frac{S_н}{S_в}$$

Эта пропорция позволяет построить два подобных треугольника: ACG и FBD,

где: $$\frac{CG}{FD} = \frac{AG}{FB}$$

значения величин этих отрезков нанесены на чертеже.

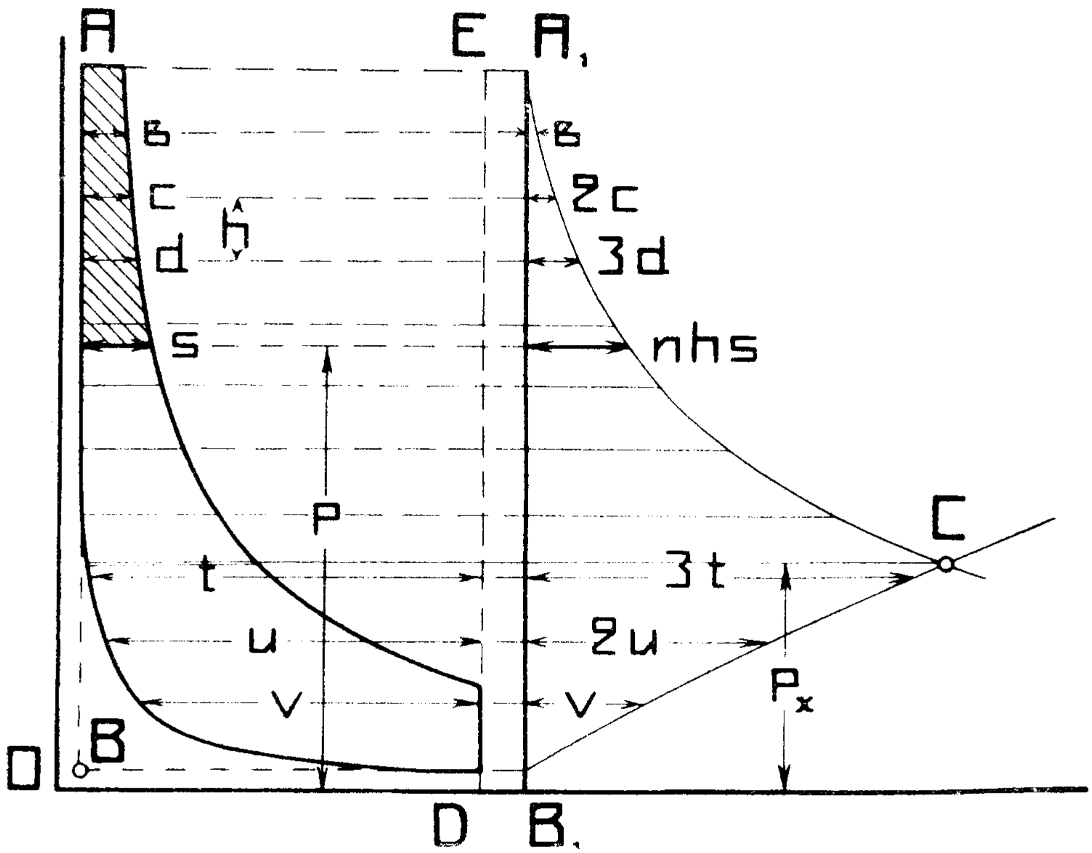
Таким образом прямая AB, разделяющая площадь диаграммы, согласно условия задачи, оказывается линией, соединяющей точки пересечения: прямой из центра C с кривой сжатия и другой прямой, параллельной первой, проведенной из центра D, с кривой расширения. Из всех прямых, которые могут получиться, в результате проведения произвольных параллелей из C и D, нашему условию удовлетворяет только одна, а именно параллельная оси абсцисс (об'ем, ходов). Она, очевидно будет касательной в максимуме (или минимуме) кривой, огибающей все прямые полученные вышеуказанным способом. Так как аналитическое выражение кривой достаточно сложно, то можно построить ее путем вписывания кривой к нескольким касательным (черт. 2). Касательная проведенная параллельно оси абсцисс и даст




Черт. 2.

искомую линию раздела. На практике нет необходимости строить большое число касательных. Достаточно взять две прямые, близкие к параллельности с осью абсцисс (на глаз), как например (черт. 2) AB и CD и провести линию раздела через точку их пересечения G.

Второй предлагаемый метод заключается в построении двух интегральных кривых, дающих в пересечении точку, с ординатой равной давлению раздела — $P_x$.




Черт. 3.

Разоб'ем площадь индикаторной диаграммы на ряд элементов равной высоты (черт. 3) проведем прямую — $A_1 B_1$, параллельную оси ординат; она будет служить нулевой линией для интегральных кривых; от нея мы будем откладывать, но соответствующим продолженным прямым разделения диаграммы, в некотором масштабе, величины:

$$(p_e - p) S.$$

Здесь p и S — соответственно—давление выпуска и ход поршня некоторой фиктивной одноцилиндровой машины, которая выполняет работу, представляемую той частью площади диаграммы, которая лежит выше прямой давления — p. На черт. 3 такая часть заштрихована.

Так как, при построении интегральной кривой, приходится прибавлять, идя вниз (уменьшая p), элементы площади с одинаковой высотой, то разности $p_e - p$, будут увеличиваться, при включении каждого нового элемента, на постоянную величину отрезка между прямыми деления.

Принимая этот отрезок за условную единицу, будем иметь для абсцисс интегральной кривой, считая сверху:

для 1-го участка площади . . . . $(p_e - p_в)\,b = 1\,b$
„ 2-го „ „ . . . . $(p_e - p_c)\,c = 2\,c$
„ 2-го „ „ . . . . $(p_e - p_d)\,d = 3\,d$

и т. д. На чертеже масштаб интегральной кривой взят меньшим нежели в диаграмме—в 3 раза.

Для построения второй интегральной кривой, берем, в такой же последовательности, элементы, начиная снизу.

Абсциссы этой кривой будут выражать, в прежнем масштабе:

$$(p - p_a)\,S,$$

где p и S — давление впуска и ход поршня фиктивной одноцилиндровой машины, выполняющей работу, соответствующую части площади нашей диаграммы, между давлениями p и $p_a$.

Абсциссы строящейся кривой будучи иметь величину, последовательно, считая снизу вверх от линии ED: v, 2 u, 3 t etc.

Верхняя и нижняя интегральные кривые пересекутся в некоторой точке C. Проводя через эту точку линию, параллельную оси абсцисс, мы разделим площадь индикатерной диаграммы, согласно условия задачи.

Третий метод разделения площади диаграммы заключается в анаморфическом преобразовании интегральных кривых и в использовании кривых расширения и сжатия, как анаморфоз верхней и нижней интегральных кривых.

Пусть (черт. 3) кривая расширения индикаторной диаграммы будет анаморфозой верхней интегральной кривой. Это значит, что каждая абсцисса кривой расширения, в непостоянной, вообще говоря, масштабе, будет, при той же ординате, представлять из себя абсциссу верхней кривой (слово „интегральной", для краткости будем, в дальнейшем, опускать).

Если абсциссы линии расширения мы будем отсчитывать от линии вредного пространства слева — AB, то считая сверху, мы будем иметь, для элементов, абсциссы:

1 — b
2 — c
3 — d и т. д.

Эти абсциссы должны, в разных масштабах, соответственно представляет абсциссы верхней кривой:

1 — b
2 — 2 c
3 — 3 d и т. д.

Следовательно масштаб изображения абсцисс верхней кривой в анаморфозе, при ходе сверху в низ, от линии наполнения, Ц. В. Д. уменьшается, линейно.

Анаморфозой нижней кривой будем считать кривую сжатия, причем абсциссы придется отсчитывать от линии правого вредного пространства — ED. Сравнивая линию сжатия с нижней кривой, мы видим, что и здесь масштаб анаморфического преобразования изменяется линейно, уменьшаясь, от линии выпуска в Ц. Н. Д., при ходе вверх.

Если теперь мы перестроим одну из анаморфоз таким образом, чтобы, при одинаковых ординатах с другой анаморфозой, ея масштаб искажения интегральной кривой был тот же, что и у той, то точка пересечения анаморфоза перестроенной и неперестроенной дает ординату, дающую давление раздела площади диаграммы.

Для графического построения удобнее всего оставить кривую расширения без изменения, а абсциссы кривой сжатия, считая их от ED, привести к масштабам соответствующих абсцисс кривой расширения (считая от AB).

Если высота площади диаграммы разбита на m равных частей, то высота каждого элемента будет:

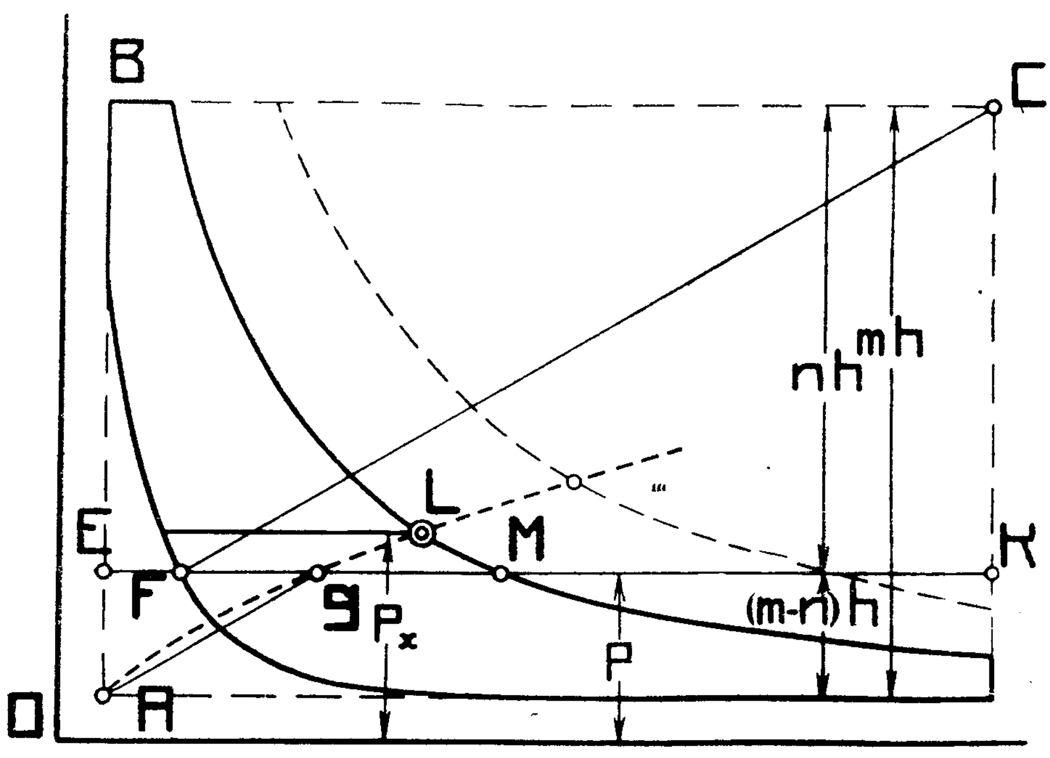
$$h = \frac{P_e - P_a}{m}$$

Возьмем линию, параллельную оси абсцисс, и относящую на n делении от линии наполнения в Ц. В. Д.

Масштаб, в котором абсцисса EM (черт. 4) линии расширения изображает соответствующую абсциссу верхней кривой будем:

$$\mathfrak{M}_в = \frac{S_в}{h\,n\,S_в} = \frac{1}{n\,h},$$

где $S_в$ — ход поршня фиктивной машины, выполняющей работу, соответствующую площади n верхних элементов диаграммы.




Черт. 4.

Масштаб же абсцисс линии сжатия — FK

$$\mathfrak{M}_н = \frac{S_н}{h\,(m - n)\,S_н} = \frac{1}{(m - n)\,h},$$

где $S_н$ — ход поршня фиктивной машины, выполняющей работу по m — n нижних элементов диаграммы.

Отношение масштабов укажет в каком отношении должна быть изменена абсцисса сжатия $FK$, чтобы, являясь анаморфозой нижней кривой, она имела одинаковый масштаб с абсциссой линии расширения (как анаморфозой же):

$$\alpha = \frac{\mathfrak{M}_в}{\mathfrak{M}_н} = \frac{m - n}{n}$$

при проведении к общему масштабу, абсцисса анаморфозы нижней кривой будем иметь величину:

$$x = \alpha FK = \frac{m - n}{n} FK.$$

Эту абсциссу придется отложить теперь от линии $AB$, как нулевой линии для абсцисс кривой расширения.

Если мы соединим прямой центр $C$ с точкой $F$, а из центра $A$ проведем прямую, параллельную первой, до пересечения с линией $EK$, то, из подобия треугольников $ECK$ и $EGA$, получим:

$$\frac{EG}{FK} = \frac{EA}{CK}$$

$$\text{отсюда} \quad EG = \frac{EA}{CK} FK$$

но $EA = h(m - n)$

$CK = hn$

т. е. $$EG = \frac{m - n}{n} EK = x.$$

Построение абсцисс анаморфозы нижней кривой сводится, таким образом, к нахождению отрезка прямой, как четвертого пропорционального трем.

Анаморфозу нижней кривой нет необходимости строить всю; достаточно небольшого ея участка около точки $L$ пересечения с линией расширения.

На черт. 4 изображена пунктиром диаграмма с большим наполнением. Мы видим, что анаморфоза нижней кривой от этого не изменится.

Сравнивая три, предложенные автором, метода, следует заменить, что первый наиболее прост, но менее точен, хотя точность построения вполне достаточна для практических целей; второй—более точен, но имеет известный минус по грамоздкости построения интегральных кривых; третий—превосходит два первых в точности (первый аналитической и второй—в чисто чертежной), прост, дает компактный чертеж и давления раздела для любого изменяющегося наполнения машины.