

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА РСФСР
ГЛАВМЕТАЛЛУРГМОНТАЖ
СОЮЗНЫМ ПРОМЫШЛЕННЫМ ТРЕСТ «ЭНЕРГОЧЕРМЕТ»
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ЦЕНТРОЭНЕРГОЧЕРМЕТ»

К. Ю. Иванов

ЛОГАРИФМИЧЕСКАЯ ЛИНЕЙКА

СИСТЕМЫ *инж. Л. Я. ШТЕРНА*

Для расчета режимов работы турбовоздухоловков
и турбокомпрессоров

(Описание и инструкция пользования)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Москва 1958

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в связи со значительным расширением и улучшением ведения доменного процесса возросли требования, предъявляемые к режиму работы турбовоздуходувок.

При переводе доменных печей на повышенное давление дутья необходимо реконструировать проточные части воздуходувок, устанавливать наддувные агрегаты, а иногда заменять старые воздуходувки на вновь выпускаемые с повышенным давлением дутья до 3,5 *ати*.

Диффузоры этих воздуходувок можно закреплять в двух разных положениях, одно из которых является оптимальным для зимнего, а другое — для летнего времени года.

Возросшая культура эксплуатации турбовоздуходувок привела к необходимости увеличения количества испытаний, проводимых как специализированными организациями, так и силами персонала станций, которые раньше, как правило, таких испытаний вообще не проводили.

Обработка материалов испытаний требует значительной затраты времени, а получение опытных данных для построения газодинамических характеристик турбовоздуходувки связано с большими непроизводительными расходами пара. Если учесть, что получаемые опытным путем аэродинамические характеристики турбовоздуходувок действительны только для параметров всасываемого воздуха, при которых они снимались, и что проведение испытания продолжается обычно несколько дней, в течение которых температура атмосферного воздуха меняется в сравнительно больших пределах, а также и то, что получение точек характеристик экспериментальным путем для большого числа значений параметров атмосферного воздуха является задачей практически

неоправданной (по расходу пара и по затрате времени), то станет ясным, какое большое значение приобретает возможность осуществления быстрого и достаточно точного пересчета газодинамических характеристик на любые возможные параметры атмосферного воздуха.

Большую работу в этой области выполнил инженер «Центроэнергочермет» К. С. Попов, который поместил опытные газодинамические характеристики в разработанную им универсальную номограмму с сетками шкал, позволяющими приводить опытные величины производительности, конечного давления и мощности турбовоздуходувки к желаемым параметрам атмосферного воздуха. Однако пересчитывать другие величины, характеризующие работу турбовоздуходувки, при помощи такой универсальной номограммы не представляется возможным.

Автором разработана и предложена специальная логарифмическая линейка для расчета режимов работы турбовоздуходувки.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И ПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНЕЙКОЙ

Линейка выполнена Ленинградской фабрикой счетных приборов и конструктивно ничем не отличается от обычной счетной линейки, выпускаемой этой фабрикой.

Благодаря наличию у нее специальных шкал, сокращено до минимума количество операций, и за счет этого достигнуто более быстрое и точное, чем на обычной линейке, проведение расчетов величин, характеризующих работу турбовоздуходувки любой производительности со степенью сжатия от $\tau_{\text{мин}} = 1,15$ до $\tau_{\text{макс}} = 6,00$.

На линейке можно проводить следующие операции:

1. Пересчитывать производительность, степень сжатия и мощность, известные при одних параметрах атмосферного воздуха и данном числе оборотов, на любые другие возможные параметры атмосферного воздуха и числа оборотов.

2. Подсчитывать:

а) $\eta_{\text{пол}}$ — полнотронический к. п. д.;

б) N_a — адиабатическую мощность;

в) K — условный коэффициент приведения;

г) давление и температуру сжатого воздуха, степень сжатия, удельные веса воздуха, поправку на показания регистрирующих приборов и т. д.

Большая точность подсчетов, осуществляемых на линейке, при малой затрате времени на обработку материалов испытаний турбовоздуходувки позволяет персоналу станций сократить время проведения эксплуатационных испытаний. Достаточно, например, получить опытную зависимость степени сжатия от производительности при одном значении числа оборотов, и можно в течение нескольких часов подсчитать газодинамические характеристики для всего рабочего диапазона числа оборотов при температурах всасываемого воздуха от $+30^\circ$ до -30° с интервалом в 5° .

Пользование линейкой дает возможность экспериментатору при проведении специальных испытаний, требующих опытной проверки всех точек газодинамических характеристик турбовоздуходувок для различных чисел оборотов, быстро обнаруживать ошибочные опыты, легко устанавливать и контролировать режим работы тур-

бозовоздуховки, а также приводить опыты к одним значениям параметров всасываемого воздуха.

Все это облегчает, ускоряет и улучшает качество проводимых испытаний.

Проектант при расчете баланса пара или электроэнергии, а также для определения величины расширения нагнетательного воздухопровода и решения других задач получает возможность с помощью линейки быстро подсчитывать мощность, потребляемую электромотором или турбиной, конечную температуру сжатия при различных параметрах атмосферного воздуха и конечных давлениях сжатия и т. д.

Для проведения всех необходимых подсчетов линейка (рис. 1) снабжена семью специализированными шкалами, из которых две шкалы расположены на обратной стороне движка (поз. Б) и двумя шкалами обычной счетной линейки (поз. А). На обратной стороне линейки приведены принятые обозначения и основные формулы, облегчающие пользование линейкой (поз. В).

Первая шкала-номограмма — $\epsilon^{\frac{k-1}{k \cdot \eta}}$ — состоит из пяти отдельных шкал, на каждой из которых нанесены логарифмы выражения $\epsilon^{\frac{k-1}{k \cdot \eta}} - 1$ для значений ϵ от 1,15 до 6,00 при политропическом к. п. д. $\eta_{\text{пол}} = 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ и 1,0.

Равные по значению степени сжатия при разных $\eta_{\text{пол}}$ соединены между собой и образуют линии постоянных степеней сжатия.

Наклон этих линий обусловлен произвольно выбранным совмещением их в точке $\epsilon = 4,0$.

Эта шкала предназначена для пересчетов степеней сжатия на разные числа оборотов и различные температуры всасываемого воздуха, а также для подсчетов адиабатической мощности и условного коэффициента приведения.

В основу этих пересчетов положена формула, пользование которой, как показали новейшие испытания на Невском машиностроительном заводе им. Ленина, дает наилучшее совпадение с опытом, а именно:

$$\left(\epsilon^{\frac{k-1}{k \cdot \eta}} - 1\right) = \left(\epsilon^{\frac{k-1}{k \cdot \eta'}} - 1\right) \frac{T_n \cdot n'^2}{T_n' \cdot n^2},$$

где T_n — температура всасываемого воздуха в °С;
 T_n' — новое значение температуры всасываемого воздуха в °С;
 n — число оборотов;
 n' — число оборотов при новом значении.

В формуле упущена поправка на величину газовой постоянной, которая меняется с изменением температуры и влажности всасы-

ваемого воздуха. Однако для эксплуатационных испытаний это не имеет существенного значения, а при обработке материалов точных испытаний влияние переменной величины газовой постоянной может быть учтено.

Вторая шкала — n^2 предназначена для пересчетов степеней сжатия на разные числа оборотов турбовоздуховки.

На шкале нанесены логарифмы квадратов чисел от 2000 до 4500, в интервале которых размещается рабочий диапазон числа оборотов всех действующих и намечаемых к выпуску новых турбовоздуховок.

Третья шкала — t_n предназначена для пересчетов степени сжатия и производительности турбовоздуховки в л/мин на температуры всасываемого воздуха от -50° до $+50^\circ$.

Степень сжатия и производительность турбовоздуховки, выраженные в л/мин , обратно пропорциональны абсолютной температуре всасываемого воздуха. Поэтому с целью облегчения и ускорения подсчетов шкала t_n расположена на линейке подобно обратной шкале, на которой отложены логарифмы чисел от 223 до 323.

Четвертая шкала — $3,5 \lg \frac{T_n}{T_n}$ предназначена для подсчетов политропического коэффициента полезного действия турбовоздуховки.

На шкале нанесены логарифмы выражения $\lg \frac{T_n}{T_n}$ для значений $\frac{T_n}{T_n}$ от 1,05 до 2,00.

Пятая и шестая шкалы предназначены для умножения и деления чисел, как на обычной счетной логарифмической линейке, а также для пересчетов производительности турбовоздуховки на различные параметры всасываемого воздуха, определения политропического k , п. д., условного коэффициента приведения и т. д.

На этих шкалах, кроме логарифмов чисел от 1 до 10, нанесена также величина адиабатической мощности N_a при производительности турбовоздуховки $Q_a = 1000 \text{ л/мин}$, давлении нагнетаемого воздуха $P_a = 1,4 \text{ атм}$, барометрическом давлении $B = 760 \text{ мм рт. ст. (1,033 атм)}$, температуре всасываемого воздуха $t_a = 0^\circ$ и газовой постоянной $R = 29,3$, т. е. при параметрах всасываемого и нагнетаемого воздуха и степени сжатия $\epsilon = \frac{1,4 + 1,033}{1,033} = 2,355$, при которых условный коэффициент приведения K на предприятиях черной металлургии принято считать равным единице.

Отсюда $N_a = 1,634 \cdot 1,033 \cdot 1000 \cdot 3,5 (2,355^{0,286} - 1) = 1636 \text{ квт}$. В связи с тем, что за последние годы возросло давление дутья до 2,0 атм и более, является целесообразным, с точки зрения улучшения контроля за работой турбовоздуховок, условный коэффициент приведения K считать равным единице не при

$P_k = 1,4$ ати, как это имеет место сейчас, а при более высоком значении конечного давления, например, при $P_k = 2,0$ ати, что соответствует степени сжатия $\epsilon = 2,937$.

В этом случае поправка на действующий коэффициент K определится так: совместив точку $t_n = 0$ с точкой $\epsilon = 2,937$ при $\eta_{\text{пол}} = 1$, находим по шестой шкале ответ: 1,3.

Это означает что K' при $P_k = 2,0$ ати; $V = 760$ мм рт. ст. $t_n = 0^\circ$ больше в 1,3 раза, чем K при $P_k = 1,4$ ати; $V = 760$ мм рт. ст. и $t_n = 0^\circ$.

Аналогично описанному методу нужно находить поправку на условный коэффициент приведения при любом другом выбранном значении конечного давления, отличного от $P_k = 1,4$ ати.

Седьмая шкала — **В мм рт. ст.** предназначена для пересчетов степени сжатия и избыточного давления нагнетаемого воздуха в зависимости от барометрического давления, определяемых по формулам

$$P_k = \frac{P}{735,5} \cdot (\epsilon - 1) \text{ и}$$

$$\epsilon = \frac{735,5 \cdot P_k}{V} + 1.$$

Эти формулы получены из формул

$$P_k = (\epsilon - 1) \cdot P_n \text{ и}$$

$$\epsilon = \frac{P_k + P_n}{P_n}$$

путем подстановки вместо P_n его значения $\frac{V}{735,5}$.

На шкале нанесены логарифмы чисел от 680 до 780. Для удобства пользования шкалой она вынесена на свободное место линейки.

Восьмая шкала — **Ig ϵ** предназначена для подсчетов политропического к. п. д. турбовоздуходувки.

На шкале нанесены логарифмы выражения $Ig\epsilon$ для значений ϵ от 1,15 до 6,00.

Девятая шкала — **n^3** предназначена для пересчетов адiabатической мощности турбовоздуходувки на разные числа оборотов по формуле $N_{n^3} = N_n \left(\frac{n'}{n}\right)^3$. Эта формула, как и некоторые другие, из-за отсутствия места не помещена на обратной стороне линейки.

На шкале нанесены логарифмы чисел от 2000 до 4500.

Десятая шкала — $\sqrt{\frac{P}{T}}$ предназначена для пересчетов удельного веса воздуха в зависимости от давления и температуры, а также для определения поправок на показания регистрирующих и указывающих воздухомеров.

На шкале нанесены логарифмы выражения $\sqrt{\frac{P}{T}}$ для значений $\frac{P}{T}$ от 10 до 100.

С целью сокращения операций при проведении подсчетов на линейке путем исключения действий с постоянными множителями, входящими в формулы, осуществлено следующее взаимоположение шкал на линейке (рис. 1, поз. А).

1. При совмещении всех точек пятой и шестой шкал на одной отвесной линии размещены: точка $t_w = 0^\circ$ третьей шкалы, точка 760 пятой шкалы и точка $\ast = 2,355$ при $\eta_{\text{полн}} = 1,0$ первой шкалы-номограммы.

2. Совмещение точек четвертой шкалы ($3,5 \lg \frac{T_x}{T_w}$) и восьмой шкалы ($\lg \ast$) осуществлено так, чтобы было соблюдено равенство

$$\eta_{\text{полн}} = \frac{\lg \ast}{3,5 \lg \frac{T_x}{T_w}} = 1.$$

В качестве контрольной точки примем точку $\ast = 3,0$ восьмой шкалы и найдем совмещенную с ней точку на четвертой шкале ($3,5 \lg \frac{T_x}{T_w}$).

$$\lg 3 = 3,5 \lg \frac{T_x}{T_w}; \quad \lg \frac{T_x}{T_w} = \frac{\lg 3}{3,5} = \frac{0,47712}{3,5} = 0,1363.$$

Отсюда искомая точка $\frac{T_x}{T_w} = 1,369$.

Правила пользования линейкой ясны из описания решения следующих типовых примеров.

Пример 1. Дано: $Q_A = 2700 \text{ м}^3/\text{мин}$, $t_w = 20^\circ$, $B = 750 \text{ мм рт. ст.}$. Найти $Q_{Ax} \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$ при $t'_w = -15^\circ$ и $B' = 740 \text{ мм рт. ст.}$ при неизменном объеме воздуха, всасываемого турбовоздуходувкой.

Решение: Устанавливаем ползун в точке 2700 шестой шкалы, перемещаем движок до совмещения точки $t_w = 20$ третьей шкалы и смещаем ползун в точку $t'_w = -15$. Найденная на шкале поправка на температуру — $Q_A = 3065 \text{ м}^3/\text{мин}$. Потом перемещаем движок до совмещения точки 750 пятой шкалы, переводим ползун в точку 740 этой же шкалы и на шестой шкале получаем ответ $Q_{Ax} = 3025 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Пересчет вели по следующей формуле:

$$Q_{Ax} = Q_A \frac{B' \cdot T_w}{B \cdot T'_w}.$$

движок до совмещения точки 1,385 четвертой шкалы ($3,5 \lg \frac{T_n}{T_n}$) и на шестой шкале находим $\eta_{полз} = 0,805$ (рис. 3).
 Расчет вели по следующей формуле:

$$\eta_{полз} = \frac{\lg \epsilon}{3,5 \lg \frac{T_n}{T_n}}$$

Пример 4. Дано: $\epsilon = 2,8$, $t_n = 20^\circ$, $n = 3000$ об/мин., $\eta_{полз} = 0,7$. Найти ϵ_x при $t'_n = -10^\circ$ и $n' = 2500$ об/мин.

Решение: На первой шкале-номограмме устанавливаем ползун в точке пересечения линии, равной степени сжатия 2,8, с горизонтальной линией $\eta_{полз} = 0,7$, совмещаем точку $t_n = 20$, перемещаем ползун в точку $t'_n = -10$ (рис. 4, поз. А), перемещаем движок до совмещения точки 3000 шкалы n^2 и переводим ползун в точку $n^2 = 2500$. В точке пересечения ползуна с линией $\eta_{полз} = 0,7$ и линией постоянной степени сжатия получим ответ $\epsilon_x = 2,29$ (рис. 4, поз. Б).

Расчет вели по следующей формуле:

$$\epsilon^{x-1} \cdot \epsilon^{x \cdot \gamma} - 1 = (\epsilon^{x-1} - 1) \frac{T_n \cdot n^2}{T'_n \cdot n'^2}$$

Пример 5. Дано: $N_n = 5200$ квт, $n = 2800$ об/мин.

Найти N_{n_x} квт при $n = 3200$ об/мин. и неизменных параметров всасываемого воздуха.

Решение: Для решения этой задачи движок линейки повертывают на 180° , т. е. пользуются оборотной стороной движка.

Устанавливаем ползун в точке 5200 шестой шкалы, перемещаем движок до совмещения точки 2800 девятой шкалы, смещаем ползун в точку $n^3 = 3200$ десятой шкалы и на шестой шкале получаем ответ $N_{n_x} = 7760$ квт (рис. 5).

Расчет вели по следующей формуле:

$$N_{n_x} = N_n \left(\frac{n'}{n} \right)^3$$

Пример 6. Воздухомер, установленный на линии нагнетания турбовоздуходувки, протарированный при $P_n = 1,02$ ата, $P_k = 1,6$ ати и $T_k = 393^\circ$ К, показывает $Q_n = 2650$ м³/мин при $P'_n = 1,01$ ата, $P'_k = 1,8$ ати и $T'_k = 450^\circ$.

Найти истинную производительность турбовоздуходувки Q_{n_x} м³/мин.

Решение. Отношение $\frac{P}{T}$ в условиях тарировки прибора равно

$$\frac{1,6 + 1,02}{393} = 0,00667.$$

Отношение $\frac{P'}{T'}$ в момент отсчета равно

$$\frac{1,8 + 1,01}{450} = 0,00625.$$

Далее задачу решают пользуясь обратной стороной движка линейки.

Устанавливаем ползун в точке 2650 шестой шкалы и совмещаем с ней точку 667 десятой шкалы; затем перемещаем ползун в точку 625 и на шестой шкале получаем ответ $Q_{zx} = 2532 \text{ мм}^3/\text{мин}$ (рис. 6).

Расчет вели по следующей формуле:

$$N_{zx} = N_s \left(\frac{n'}{n} \right)^3.$$

Возможно также решение обратной задачи, например, в том случае, когда дано: $\epsilon = 3,0$, $\eta_{\text{пол}} = 0,76$, $T_n = 300^\circ \text{ К}$. Найти $T_{zx}, ^\circ \text{ К}$.

Решение: Устанавливаем движок так, чтобы конец пятой шкалы совпал с точкой 0,76 шестой шкалы, перемещаем ползун в точку 3,0 восьмой шкалы и на четвертой шкале получаем

$$\frac{T_{zx}}{T_n} = 1,512 \text{ (рис. 7)}.$$

Отсюда $T_{zx} = 300 \cdot 1,512 = 454^\circ \text{ К}$.

Необходимо отметить, что на линейке можно также осуществлять расчеты величин, характеризующих работу турбокомпрессоров, так как каждую секцию турбокомпрессора можно себе представить в виде отдельно взятой турбовоздуходувки.

Что же касается пересчета степени сжатия всего турбокомпрессора, осуществляемого по формуле

$$\lg \epsilon' = \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \frac{T_n \cdot R}{T_n' \cdot R'} \cdot \tau_w \cdot \lg \epsilon,$$

то до степеней сжатия $\epsilon = 10$ этот пересчет можно осуществить на линейке проще и быстрее, чем на обычной счетной линейке, что видно из приведенного ниже примера.

Дано: У турбокомпрессора $\epsilon = 6,0$, $n = 2800 \text{ об/мин}$, $t_n = 20^\circ$. Найти ϵ_x при $n' = 3000 \text{ об/мин}$, $t_n' = 0^\circ$, если подсчетом получено, что $\tau_w = 0,98$, а R принимаем равным R' .

Решение: Устанавливаем ползун в точке $\lg \epsilon = 6,0$ восьмой шкалы, перемещаем движок до совмещения с этой точкой точки $n^2 = 2800$, сдвигаем ползун в точку $n^2 = 3000$ (рис. 8, поз. А), после чего совмещаем точку $t_n = 20$ третьей шкалы, смещаем ползун в точку $t_n' = 0$ (рис. 8, поз. Б), перемещаем движок до совмещения конца пятой шкалы с линейкой ползуна, затем перемещаем ползун в точку 0,98 пятой шкалы и на восьмой шкале $\lg \epsilon_x$ получим ответ $\epsilon_x = 8,7$.

Пересчеты производительности и внутренней мощности турбокомпрессоров и турбовоздуходувок на различные числа оборотов и параметры всасываемого воздуха осуществляются по одним и тем же формулам.

Изучение метода решения приведенных типовых примеров позволит решать на линейке и другие возможные многочисленные примеры.

Простота операций, совершаемых при подсчетах на линейке, позволяет пользоваться ею не только экспериментатору и проектировщику, работающим в данной области, но и эксплуатационному персоналу воздушных двигателей.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	Поправка
8	9 св.	или турбиной	или развиваемую турбиной	Двт.
8	5 св.	в °C	в °K	Ред.
8	7 св.	в °C	в °K	*
10	17 св.	$\frac{P}{735,5}$	$\frac{B}{735,5}$	Двт.
13	4 св.	$\lg \epsilon$ $3,5 \lg \frac{T_B}{T_H}$	$\lg \epsilon$ $3,5 \lg \frac{T_B}{T_H}$	Счит.

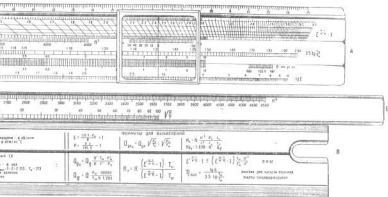


Fig. 1

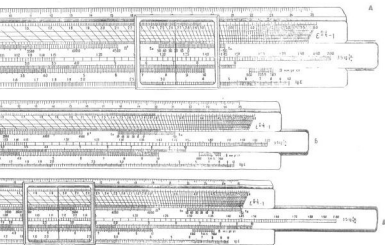


Fig. 2



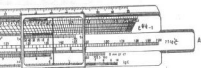


Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6

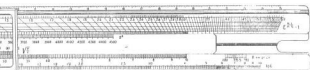


Fig. 7

