

Повышение температуры, которое может быть получено также из диаграммы TS как вертикальный отрезок A_1A_2' , составляет

$$t_2' - t_1 = T_1[(p_2:p_1)^{(\kappa-1)/\kappa} - 1] \dots \dots \dots (3)$$

При полном охлаждении температура газа остается постоянной (случай изотермы). Линия сжатия A_1A_2' (фиг. 1569 и 1570) представляется в диаграмме pv равнобедренным гиперболом, в диаграмме TS — прямой, параллельной оси S . В случае отсутствия внутренних потерь потребная работа на сжатие 1 кг газа изображается площадью $A_1A_2''B_2B_1$, соответственно $A_1A_2''C''C'$ и определяется из

$$L_{in} = p_1 v_1 \ln(p_2:p_1) = RT_1 \ln(p_2:p_1) \dots \dots \dots (4)$$

Тепловой эквивалент этой работы, согласно уравнения (1), равен количеству тепла, отведенного охлаждающей водой.

Сберегаемая, благодаря охлаждению, работа соответствует в обоих диаграммах площади $A_1A_2''A_2'$. В частности получается $t_1 = 20^\circ$ при $\kappa = 1,4$.

Таблица 1.

$\frac{p_2}{p_1} = 1$	2	3	4	6	8	10	25	50
$L_{ad} = 0$	6150	11 080	14 580	20 000	24 400	28 000	45 400	61 800
$\frac{L_{ad}}{L_{in}} = 1$	1,106	1,175	1,227	1,305	1,367	1,416	1,644	1,840
$t_2' - t_1 = 0$	64	108	142	198	238	273	443	603
								°C

При неполном охлаждении компрессора линия сжатия A_1A_2 , вообще, имеет вид политроны $pv^\kappa = p_1 v_1^\kappa$. Если в это время подвода тепла вследствие внутренних потерь, то всегда $1 < \kappa < \kappa$. Рабочей площадью на фиг. 1570 является площадь $A_1A_2A_2''C''C'$. Потребная работа на кг и повышение температуры получаются из уравнения (2) соответственно (3), если поставить κ вместо κ .

Вышеприведенная числовая таблица показывает, что при отношениях давлений (кратностях сжатия) свыше 3 до 4 охлаждение дает уже значительное сбережение работы.

2. Коэффициент полезного действия. Внутренний (индикаторный)

$$\eta_i = \frac{\text{работа свободного от потерь сгустителя}}{\text{действительная внутренняя индикаторная работа}}$$

где, следовательно, числитель может представлять одну из вышеприведенных работ, учитывает так называемые внутренние потери, т. е. те, которые возникают во время самого процесса сжатия в форме трения газа, торможения, неплотностей и т. д., и которые опять сообщаются газу в виде тепла. Следствием такого нагревания газа, на которое тратится известная работа компрессора, является то, что либо кривая сжатия в диаграмме pv становится более крутой, либо требуется более сильное охлаждение, чем при свободном от потерь сгустителе. Так, например,

при неохлажденном сгустителе вместо адiabаты сжатия идет по политроне A_1A_2 (фиг. 1571) с показателем $\kappa > \kappa$. В этом случае, т. к. $q = 0$, то по уравнению (1) получается $L_i = c_p (t_2 - t_1) / A$ и $\eta_i = L_{ad} : L_i = (t_2' - t_1) : (t_2 - t_1)$ или $t_2 - t_1 = (t_2' - t_1) : \eta_i \dots \dots (5)$

Общая дополнительная работа вследствие внутренних потерь равна сумме AP из этих потерь (площадь A_1A_2CC'') и дополнительной работы сжатия AK (площадь $A_1A_2'A_2$, вызванной подведением тепла).

Механический коэффициент полезного действия

$$\eta_m = \frac{\text{действительная внутренняя работа}}{\text{произведенная работа}} = L_i : L_e$$

учитывает механическое трение на поверхностях скольжения.

Адiabатический и изотермический коэффициент полезного действия. Здесь мощность относится к определенному идеальному процессу, а именно: при неохлаждаемых компрессорах к адiabатическому, а при охлаждаемых — к изотермическому сжатию.

Пусть обозначает:

N_e потребную мощность на валу компрессора в P S,

G_{sk} вес подаваемого в нагнетательную линию воздуха в kg/sec.

Тогда адiabатический коэффициент полезного действия

$$\eta_{ad} = L_{ad} : L_e = G_{sk} L_{ad} : 75 N_e \dots \dots \dots (6)$$

и изотермический коэффициент полезного действия

$$\eta_{is} = L_{is} : L_e = G_{sk} L_{is} : 75 N_e \dots \dots \dots (7)$$

где L_{ad} и L_{is} получаются из уравнений (2), (2а), соответственно (4).

[При этом начальное состояние при определении L_{ad} и L_{is} должно быть отнесено, согласно новейших норм¹⁾:

а) для одноступенчатых компрессоров к температуре всасываемого газа;

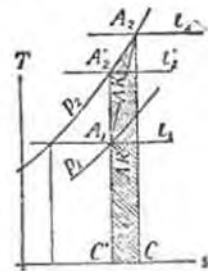
б) для поршневых компрессоров, с числом ступеней не больше двух, и для турбокомпрессоров — к среднему арифметическому температур всасываемого газа и поступающей охлаждающей воды,

в) для поршневых компрессоров с тремя и более ступенями и, по меньшей мере, с двумя промежуточными холодильниками, — к температуре поступающей охлаждающей жидкости].

Из уравнений (6) и (7), на основании известных опытных значений коэффициентов η_{ad} или η_{is} определяется потребная мощность N_e (стр. 1111 и 1136).

Для неохлаждаемого компрессора, очевидно $\eta_{ad} = \eta_i \eta_m$, поскольку не принимается во внимание охлаждение на поверхности кожуха. В этом случае $\eta_i = \eta_{ad} : \eta_m$ может быть вычислен по уравнению (5), если непосредственно измерить температуры t_1 и t_2 у входа и выхода и определить $t_2' - t_1$ при помощи уравнения (3) или таблицы энтропий.

¹⁾ Прилага для испытания вентиляторов и компрессоров, установленных Союзом германских инженеров и Союзом германских машиностроительных заводов, Берлин, 1924.



Фиг. 1571.

[Относительная влажность (I т., стр. 535)]. $\varphi = p_d : p_s$ — где p_d есть парциальное давление содержащегося в воздухе пара, а p_s — соответствующее данной температуре давление насыщенного пара, — уменьшается во время сжатия, вследствие значительного повышения температуры газа, однако, при следующем затем охлаждении так сильно возрастает, что достигается точка росы и выделяется вода. Поэтому в промежуточных холодильниках и паятательном трубопроводе должен быть предусмотрен дренаж].

Начальное и конечное состояния. Вес 1 м^3 воздуха при абсолютной температуре $T = 273 + t$, давлении p в ат, относительной влажности φ и соответствующем температуре T давлении насыщенного пара p_s в ат, которое должно быть взято из т. I, стр. 520, таблицы 2, составляет в кг.

$$\gamma = 342 \cdot p : T - 129 \varphi \cdot p_s : T \dots \dots \dots (8)$$

откуда $v = 1 : \gamma$. Обычно величина влажности, а следовательно, значение второго члена уравнения 8 очень мало, и им можно пренебречь.

Каждый ступитель должен быть таких размеров, чтобы он мог давать требуемое количество воздуха даже при самом пикаме для данной местности барометрическом давлении и самой высокой местной температуре (поддуховки для доменных печей и для выплавки стали). Из-за сопротивлений при засасывании падо от давления, господствующего у начала всасывающего трубопровода, вычсть от 1 до 6% (у поршневых компрессоров больше, у центробежных меньше), конечное давление брать на соответствующую величину большим, чем давление в напорном воздушном козлаке или в сборном воздухопроводе. Затем необходима некоторая прибавка по причине нагревания воздуха во всасывающем трубопроводе.

Воздух следует забирать в том месте, где он наиболее сух и имеет наименьшую температуру; по возможности не из машинного помещения.

[Рекомендуется включение воздушного фильтра во всасывающий воздухопровод во избежание загрязнения машины].

A. Поршневые сгустители (поршневые воздуходувки и поршневые компрессоры).

а) Существование охлаждения.

Непосредственное введение охлаждающей воды в рабоче пространство (мокрые компрессоры) больше не применяется по причине неудовлетворительного охлаждающего эффекта и неудобств, связанных с подачей воды (опасность водяного удара, малое число оборотов и поэтому большие размеры, заполнение трубопроводов водой).

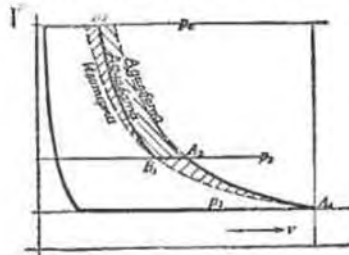
Охлаждение во время сжатия сводится к охлаждению рубашки и крышек цилиндра. При более высоких кратностях сжатия ($p_2 : p_1 > 4$) вся работа кроме того подразделяется на несколько ступеней, чтобы возможно было применять промежуточное охлаждение.

[На фиг. 1572 и 1573 изображен в диаграммах p и TS процесс сжатия в двухступенчатом компрессоре, при чем принято, что за I ступенью воздух охлаждается до начальной температуры, и что сжатие в отдельных цилиндрах происходит по адиабате. Выигрыш в работе, благодаря проме-

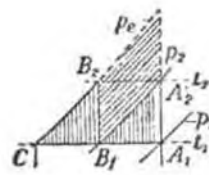
жуточному охлаждению, соответствует рабочей площади над $A_2B_1B_2$, излишек работы против изотермического процесса соответствует площадям между этой линией и изотермой. Из энтропийной диаграммы фиг. 1573 следует, что экономия будет наибольшей, когда точка B_1 делит пополам отрезок A_1C , следовательно, когда рабочие площади и повышения температуры одинаковы в обеих ступенях. Отсюда, согласно уравнению 3, стр. 1104, следует: $p_2 : p_1 = p_e : p_s = \alpha$, а потому отношение давлений в каждой ступени $\alpha = \sqrt{p_e : p_1}$.

Соответственно при числе ступеней i отношение давлений получается

$$\alpha = \sqrt[i]{p_e : p_1}$$



Фиг. 1572.



Фиг. 1573.

Для давлений до ≈ 10 ат abs (иногда и для значительно больших) выбирают $i = 2$ ступени. Если придерживаться того же предельного отношения давлений $\alpha_{\text{max}} = \sqrt{10 : 1}$ в каждой ступени, то 3 ступеней достаточно для давлений до $(\sqrt{10})^3 = 32$ ат abs, 4 ступеней — до $(\sqrt{10})^4 = 100$ ат abs, 5 ступеней — до $(\sqrt{10})^5 = 320$ ат abs.

Для некоторых областей применения предписывается верхний предел для температуры, так что допустимое отношение давлений в одной ступени может быть найдено из уравнения 3 (стр. 1104), если в нем поставить $n = 1,3$ до 1,4 вместо γ , и виду охлаждения рубашки и крышек.

[Примеры. Для двухступенчатого компрессора, при $p_e = 7$ ат abs, $p_1 = 0,95$ ат abs, отношение давлений в каждой ступени получается $\alpha = p_2 : p_1 = \sqrt{7 : 0,95} = 2,72$, следовательно $p_2 = 2,72 \cdot 0,95 = 2,58$ ат abs. Для трехступенчатого компрессора, при $p_e = 25$ ат abs и $p_1 = 0,9$,

$$\alpha = \sqrt[3]{25 : 0,9} = 3,02,$$

следовательно, $p_2 = 3,02 \cdot 0,9 = 2,72$, $p_3 = 3,02^2 \cdot 0,9 = 8,22$ ат abs].

Падение давления в холодильнике должно быть принято в среднем приблизительно в 1 : 10 имеющегося давления, почему конечное давление предшествующей ступени должно быть выбрано на 5% выше, а начальное давление на последующей ступени на 5% ниже, чем найденные выше значения.

В случае компрессоров высокого давления с конечными давлениями свыше 50 ат вышеприведенный способ расчета не является уже достаточно точным, так как теплоемкость меняется. В этом случае лучше всего определить промежуточные давления, пользуясь энтропийной диа-

граммой *JS* для газов, для каковой цели следует разделить изотерму, имеющую в этой диаграмме вид кривой линии, между начальным давлением p_1 и конечным p_2 на столько равных частей, сколько предположено ступеней. Так как с повышением давления теплоемкость растет, то в высших ступенях получаются теперь меньшие повышения температуры, чем в низших¹⁾.

Промежуточные холодильники в большинстве случаев представляют собой поверхностные холодильники с медными трубками, наподобие поверхностных конденсаторов (стр. 635 и сл.); выжимальные холодильники применяются редко. Для достижения хорошей теплопередачи скорость движения воздуха берется возможно большей, при чем вода течет внутри трубок, а воздух снаружи, или же наоборот. В первом случае должно быть поперечным стенками обеспечено перпендикулярное поступление воздуха на поверхность трубок, и расстояние между трубками должно быть возможно меньшим. Надо также иметь в виду, что при таком расположении температура камеры выше температуры трубок, почему легко происходит поломка трубок, если они развальцованы в концах. Всегда применяется противоток. Охлаждающие трубки диаметром от 20 до 40 мм при толщине стенок в 1 до 2 мм].

Величина площади охлаждения f (измеренная на воздушной стороне) получается из $f = W : (k \Delta t_m)$, где W есть количество отводимого в час тепла в ккал, k — коэффициент теплопередачи в ккал/м²h, Δt_m — средняя разность температур вдоль всей поверхности охлаждения; обе последние величины должны быть взяты согласно 1 т., стр. 497—500.

Вследствие малой толщины стенок можно положить $k = \alpha_1 \alpha_2 : (\alpha_1 + \alpha_2)$. Коэффициенты теплопередачи α_1 (воздушная сторона) и α_2 (водяная сторона) берутся из уравнений от 1а до 4, 1 т., стр. 489; скорость воздуха около 20 м/сек.

Чтобы сэкономить на дорогом стоящей поверхности охлаждения и уменьшить расход воды, газ охлаждают не до начальной температуры t_1 , а до температуры t_{21} , которая приблизительно на 10° выше начальной, в случае свежей воды, и на 20° выше в случае воды, охлаждаемой в градирне. Тогда W получается из $W = G c_p (t_2 - t_{21})$, где $c_p = 0,241$, t_2 есть температура выхода из предыдущей ступени, G — подаваемое количество в кг/ч.

Температура уходящей воды принимается не выше 30°. Расход воды составляет около 2,5 до 8 кг на 1 м³ всасанного воздуха при конечном давлении приблизительно 7 ат, включая расход на охлаждение рубашки. Малые значения годны только для больших производительностей].

б) Действительный рабочий процесс.

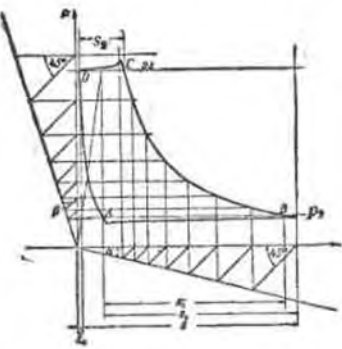
Вследствие сопротивлений в трубопроводе и распределительных органах линия всасывания *AB* в индикаторной диаграмме (фиг. 1574) лежит ниже линии давления всасывания p_1 приблизительно на 5% этого давления и несколько ближе подходит к этой линии омы в второй половине хода. По той же причине линия выпуска *CD* лежит выше линии конечного давления p_2 в среднем на 3 до 5% этого давления.

¹⁾ Остергаг, журн. Z. d. V. d. I. 1922, стр. 649.

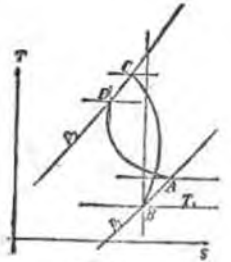
Из-за обмена тепла между стенками цилиндра и воздухом при сжатии (линия *BC*), или обратное расширение воздуха, находившегося во вредном пространстве (линия *DA*), не происходит строго по политропе. Начало сжатия идет с подводом тепла от стенок к воздуху, а конец сжатия — с отдачей тепла стенке. Таким образом, в случае охлаждения рубашки и крышек, сжатие идет по линии *BC* в энтропийной диаграмме (фиг. 1575). Во время выпуска воздух продолжает охлаждаться, так что точка, изображающая его состояние, перемещается при постоянном давлении из *C* в *D*. При обратном расширении из вредного пространства продолжается вначале отдача тепла воздухом, но затем она сменяется энергичным притоком тепла (линия *DA*).

Поэтому показатель политропы для линии сжатия может быть в среднем принят $n = \kappa = 1,4$, если идет речь об определении величины работы. На фиг. 1574 это выполнено по способу, указанному в 1 т., стр. 515. Для линии расширения показатель $m < \kappa$, а именно: $m = 1$ до 1,2. При вычерчивании индикаторной диаграммы линию *DA* большей частью считают равноугловой гнелеролой, т. е. принимают $m = 1$.

Коэффициент подачи λ (ср. 1 т., стр. 519), зависит:



Фиг. 1574.



Фиг. 1575.

1. От обратного расширения сжатого во вредном пространстве воздуха, соответственно множителю

$$\lambda_0 = s_1 : s = 1 - \epsilon_0 [(p_2 : p_1)^{1/m} - 1] \text{ или } 1 - \epsilon_0 [(v_1' : v_2') - 1], \quad (1)$$

где, согласно фиг. 1574, обозначают:

$\epsilon_0 = s_0 : s$ — отношение вредного пространства к объему, описываемому поршнем,

v_1', v_2' — удельные объемы в конце и начале обратного расширения, которые относятся также к точкам *D* и *A* фиг. 1574 и 1575 и должны быть взяты из энтропийной диаграммы, если не предпочитают пользоваться первым выражением;

2. От повышения давления воздуха во время всасывания, соответственно множителю

$$\lambda_1 = s_1' : s_1;$$

3. От передачи тепла от стенок к воздуху во время всасывания, соответственно множителю λ_2 (подробнее, см. I т., стр. 519).

4. От неплотностей в поршне и клапанах, соответственно множителю λ_3 .

Таким образом $\lambda = \lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3$.

Большая часть ограничиваются определенным λ_0 по уравнению (1) и принимают для λ несколько меньшее значение, или же берут $\lambda_0 \lambda_1 = s_1^2$: s из снятой с машины индикаторной диаграммы; при золотниковых компрессорах, для случая слишком раннего открытия всасывания, последний способ неточен. Самым точным является измерение количества воздуха в нагнетательной трубе при помощи сопла¹⁾.

Значения λ колеблются:

у компрессоров для конечного давления около 7 ат между 0,86 и 0,92,
у воздухоудов для доменных печей между 0,82 и 0,90,
у небольших компрессоров от 0,7 и выше.

Так как прекращению подачи воздуха соответствует $\lambda = 0$, то из уравнения (1) получается следующее значение наибольшего возможного отношения давлений:

$$(p_2 : p_1)_{\max} = [(1 : \epsilon_0) + 1]^m,$$

например, при $\epsilon_0 = 0,05$, $m = 1$, $(p_2 : p_1)_{\max} = 21$.

При известных обстоятельствах, таким образом, уж одно только соотношение относительно коэффициента подачи вынуждает прибегнуть к многоступенчатому сжатию (важно для вакуумных насосов).

с) Определение основных размеров.

Вычислив объем сжатого воздуха V в m^3/sec (стр. 1106), определяют объем $F \cdot S$ (F — действительная площадь поршня, S — ход), описываемый поршнем одноцилиндрового компрессора или поршнем цилиндра низкого давления многоступенчатого компрессора, при числе оборотов n в минуту, из уравнения

$$V = j(F \cdot S \cdot n : 60) \lambda, \dots \dots \dots (2)$$

где $j = 1$ для компрессоров простого действия, $j = 2$ для компрессоров двойного действия. Коэффициент подачи λ надо прикинуть (см. выше и в).

Что касается величины $S : D$ (отношения хода поршня к диаметру) и числа оборотов n , то применимы те же соображения, что и для паровых машин (стр. 568).

Площадь сечения f_s всасывающего патрубка определяют, приняв среднюю скорость воздуха $V : f_s = 10$ до 20 m/sec . Таким же образом, площадь сечения нагнетательного патрубка f_d определяется из $V : f_d = 10$ до 15 до 30 m/sec .

Размеры цилиндров высокого давления многоступенчатых компрессоров определяются по найденным из уравнения (2) значениям для цилиндра низкого давления на основании того соображения, что ход для всех ступеней один и тот же и, поэтому, действительные площади поршня

¹⁾ См. прим. стр. 1105.

при одинаковой относительной величине вредного пространства относятся, как объемы. Последние наиболее точно определяются из энтропийной диаграммы. Если пренебречь падением давления в промежуточном холодильнике, изменением теплоемкости при более высоких давлениях и неполнотой обратного охлаждения, то можно пользоваться законом Мариотта.

[При большой разнице между величинами отношения вредного пространства к пространству, описываемому поршнем, в отдельных ступенях, вычерчивание объемной диаграммы дает все необходимые данные, так как диаграммные линии относятся, как действительные площади поршня. При этом имеется возможность учесть также влияние конечности всасывания промежуточного холодильника на вид линии всасывания, применяя соответственным образом способ, указанный на стр. 539 для паровых машин компаунд.]

д) Определение необходимой мощности.

Подробный способ: Определить при помощи индикаторной диаграммы средние индикаторные давления в отдельных ступенях, как в случае паровой машины.

Без индикаторной диаграммы среднее теоретическое индикаторное давление для каждой ступени (т. е. без внутренних потерь) получается как произведение потребной работы на 1 m^3 воздуха на $\lambda_0 \cdot 10^{-4}$. Если вставить значения давлений в kg/cm^2 , то получается (стр. 1104).

$$P_{теор} = \frac{n}{n-1} \lambda_0 p_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \dots \dots (3)$$

где λ_0 дается уравнением (1) стр. 1109, и обычно $n = \gamma = 1,4$. Вследствие торможения и трения $p_i = p_{теор} \cdot 1 : \eta_i$ ($\eta_i \approx 0,94$)¹⁾, откуда индикаторная мощность $N_i = F \cdot v_{ин} : 75 p_i$. В уравнении (3) предполагается, что линии сжатия и линии расширения имеют одинаковый показатель n , однако, происходящая отсюда ошибка незначительна.

Более простой способ нахождения потребной индикаторной работы состоит в том, что определяют адиабатические единичные перепады $\Delta L_{ад}$ в ступенях либо вычислением по уравнению (2) стр. 1103, либо непосредственно из энтропийной диаграммы, как вертикальные отрезки.

Если при этом сопротивлении при течении уже учтены соответственным выбором начальных и конечных давлений (стр. 1106), то надо сделать еще только добавление в 3 до 6% на неплотности. Тогда потребная индикаторная мощность в P.S. будет

$$N_i = 1,03 \text{ до } 1,06 G_{sec} \sum \Delta L_{ад} : 75.$$

Потребная эффективная мощность $N_e = N_i : \eta_m$ при чем механический коэффициент полезного действия η_m в компрессорах с приводом от паровой машины = 0,85 до 0,95, в компрессорах с электрическим или ременным приводом (мощность измеряется на кривошипном валу) 0,70 до 0,83.

¹⁾ Ср. А. Н. И. Thermodynamische Grundlagen der Kolben- und Turbokompressoren, Berlin 1914, Jul. Springer.

По N_e можно, согласно уравнений (6) и (7) (стр. 1105), определить адиабатический или изотермический коэффициент полезного действия. У двухступенчатых больших компрессоров с паровым приводом $\eta_{из} = 0,72$ до 0,78, если не принимать во внимание механические потери на трение в паровой машине; если же учитывать потери в паровой машине, т.-е. отнестись коэффициент полезного действия к индикаторной работе паровой машины, то $\eta_{из} = 0,65$ до 0,74. Расход тепла на получение 1 м³ сжатого воздуха давлением в 7 ат составляет в паровых поршневых компрессорах, при обычных давлениях пара, 450 kcal, в газовых поршневых компрессорах, без использования отработанного тепла, 250 kcal¹⁾.

е) Соотношения сил.

В паровых компрессорах, поршень которых непосредственно соединен с паровым поршнем, части движущего механизма воспринимают в концах хода сумму наибольших давлений поршней парового и воздушного цилиндров и поэтому получают очень тяжелыми. К середине хода действующая на эти части сила быстро убывает до нуля. Расчет маховика приведен на стр. 333 в сл. В вертикальных машинах действие веса уравновешивается либо противовесом на маховом колесе, либо неодинаковым распределением работы на обеих сторонах цилиндра.

г) Распределение.

В качестве распределительных органов применяются как клапаны со свободным ходом, так и золотники. Однако, золотники должны употребляться (несмотря на небольшие конечные давления) только в соединении с клапанами, так как начало выталкивания (точка С, фиг. 1574), меняется с конечным давлением в далеких пределах.

1. Клапаны (ср. стр. 69). Устанавливаются либо в крышках цилиндра (малое вредное пространство, но плохое охлаждение), либо в корпусе цилиндра (большое вредное пространство). Клапаны должны легко вставляться и выниматься через особые, закрытые крышками, отверстия.

Расчет. Поперечное сечение прохода в седле $f_1 = F u_m : c_1$.

Здесь обозначает:

F — действительную площадь поршня в м²,

u_m — среднюю скорость поршня в м/сек, при чем значение этой скорости принимают для всасывающего клапана равным среднему значению $\sin \alpha$; 60, так как клапан открыт почти во все время хода; для нагнетательного же клапана за скорость поршня принимают среднее значение²⁾ ее, имеющее место во время короткого выталкивающего хода, и равное $3 \sin(1 - \cos \psi) : \psi^\circ$, где $\psi^\circ = 1 - \psi^\circ$ обозначает в градусах угол, описываемый кривошипом во время выталкивающего хода s_2 (фиг. 1574). Угол ψ

определяется на $\cos \psi = \frac{(s : 2) - s_2}{s : 2}$ (длина шатуна принята бесконечной);

c_1 — среднюю скорость воздуха в м/сек, которая может быть принята равной 20 до 25 до 30 м/сек.

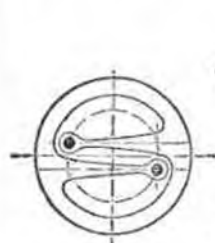
¹⁾ St. u. E. 1924, стр. 1572.

²⁾ Ср. также примечание стр. 1102 и 1108.

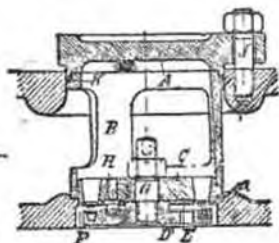
Отсюда для нагнетательных клапанов в большинстве случаев получается меньшее поперечное сечение, чем для всасывающих.

Нагрузка на клапан определяется из $(F_0 \pm G) : f_1 = 0,005$ до 0,03 кг/см², при чем меньшие значения берутся для всасывающего, а большие для нагнетательного клапана.

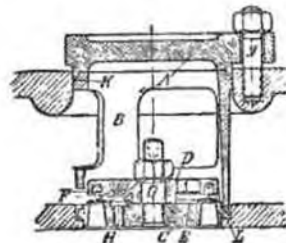
Перед собственным весом клапана G поставлены знаки \pm , так как установка клапана может быть сильней или слабей. Для вертикального положения надо принять G равным нулю. Так как тот же клапан применяется обычно для всех трех случаев, то при расчете лучше всего брать знак минуса. Тогда получается напряжение пружины F_0 для сильного клапана. Нагрузка пружины при наибольшем ходе $F_{max} \approx 2$ до $3 F_0$.



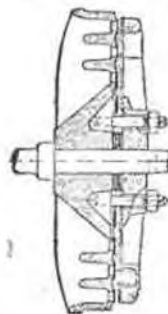
Фиг. 1576.



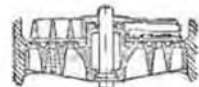
Фиг. 1577.



Фиг. 1578.



Фиг. 1579.

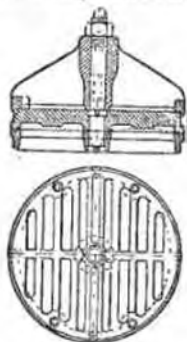


Фиг. 1580.

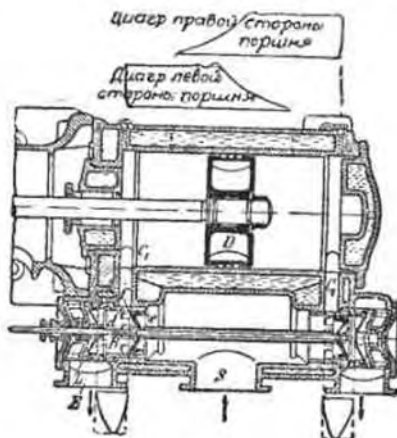
Примеры конструкций клапанов. На фиг. 1576 до 1578 показан простой кольцевой клапан фирмы Borsig с направляющими поводками (клапан Lindemann), выполняемый в различных размерах ($f_1 = 6$ до 200 см²); на фиг. 1579 — трехстворчатый клапан Rogler-Hörbiger с дугообразными поводками и доской с подушкой на лопатке; на фиг. 1580 — клапан с направляющими пружинами завода Thyssen, Müllheim-Ruhr; на фиг. 1581 — плоский пружин-

ный клапан DEMAG, в котором при открывании тонкие полосы листовой стали вследствие собственной упругости дугобразно прилегают к ловителю.

2. Распределение золотником. Золотник управляет всасыванием полностью, а у выталкивания только закрытием (точка *D*, фиг. 1574), между тем как начало выталкивания устанавливается клапаном со свободным ходом. Иногда золотник управляет только всасыванием.



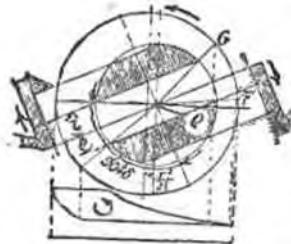
Фиг. 1581.



Фиг. 1582.

На фиг. 1582 показано в разрезе распределение по первому из указанных способов (распределение системы Кестера, Франкфуртского завода бывш. Покорный и Виттекинд)

В указанном на фигуре положении правая сторона цилиндра сообщена с пространством всасывания *S*, благодаря открытию золотником канала *C*₁; левая же сторона через канал *C*₂ сообщается с колоколообразным клапаном *B*, а значит и с пространством нагнетания *E*, так как клапан приподнимает воздух. Поршень движется влево. В левом мертвом положении рабочего поршня кромка золотника *f* переходит за кромку *d* золотникового зеркала. Так как, однако, согласно вычерченной на фиг. 1583



Фиг. 1583.

золотниковой диаграмме, золотник продолжает идти влево еще на $p + i$, то клапан *B* остается открытым до левого мертвого положения золотника. Закрытие его происходит под влиянием небольшого вытеснения золотника бесшумно. Когда затем золотник движется вправо, происходит обратное расширение сжатого в золотниковой коробке воздуха, как показано на вычерченных под золотниками индикаторных диаграммах золотниковой

коробки. В момент, когда канал цилиндра опять открывается (точка *G*, фиг. 1583), должно господствовать одинаковое давление как в цилиндре, так и в золотниковой коробке. Вслед за тем давление тотчас опять возрастает, так как в цилиндре происходит сжатие. Индикаторная работа обоих поршней должна быть прибавлена к работе поршня. В последней части хода открывательное движение клапана *B* замедляется перекрытием отверстия *L*. Во избежание потерь от торможения закрытие всасывания должно произойти уже за мертвой точкой (точка *F*, фиг. 1583).

В небольших компрессорах той же фирмы распределительным органом служит массивный всасывающий клапан, установленный в камере над кривошипным валом. Клапан непосредственно управляется кулачной шайбой, насаженной на кривошипный вал.

В небольших компрессорах завода Balcke, Frankenthal (Pfalz) всасывание в первой ступени осуществляется при помощи щелей, открываемых и закрываемых поршнем (фиг. 1501).

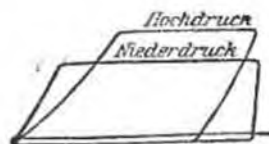
Золотниковые распределения допускают большее поперечное сечение всасывания, чем клапаны со свободным ходом. Опасность удара клапана значительно меньше. Но они вызывают большие потери на трение, большие вредные пространства и требуют больших первоначальных затрат.

г) Регулирование подаваемого количества воздуха.

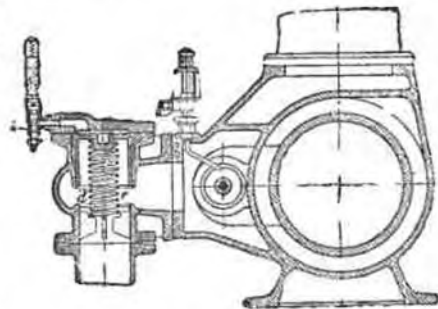
Регулирование производится:

1. Изменением числа оборотов; применяется всегда при приводе от паровой машины или большого газового двигателя; в основном производится таким же образом, как у водяных насосов (стр. 1067).

2. Включением и выключением вредного пространства, так как при этом, согласно уравнения (1), меняется коэффициент подачи λ_0 . Как видно из фиг. 1584, при этом способе могут быть достигнуты также различные давления при одинаковой производительности (стателетейные воздуходувки).



Фиг. 1584.



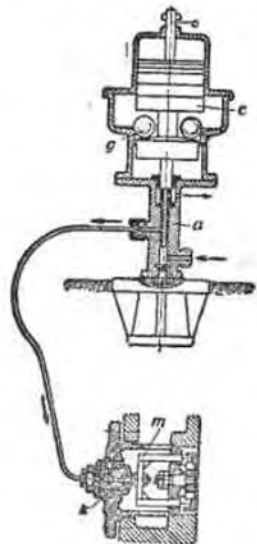
Фиг. 1585.

3. Обратным отведением части всосанного воздуха во всасывающий трубопровод, в котором органы всасывания держатся открытыми за мертвую точку; легче всего выполнимо при золотниковом распределении всасывания.

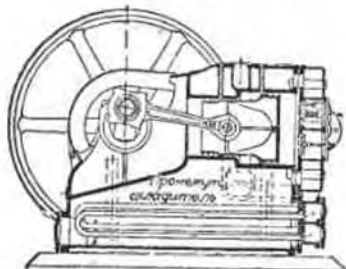
4. При помощи автоматов, которые приводятся в действие силовым поршнем *d* (сервомотором), как только давление воздуха достигает наибольшей допустимой величины (фиг. 1585). Сервомотор приводится в движение давлением воздуха и управляется вспомогательным поршнем *h*.

На фиг. 1585 (FMA) выключение достигается полным закрытием всасывающей трубы самым силовым поршнем. Как только давление падает до 0,5 ат, распределительный клапан *h* опять открывает трубу, т. е. соединяет снова пространство за поршнем *d* с атмосферой.

В показанной на фиг. 1587 конструкции DEMAG поршень сервомотора *k* снабжен хомутом *m*, который открывает всасывающий клапан, так что компрессор работает вхолостую. Распределительный поршень сервомотора нагружен гирями *c* и шариками *g* и движется в узком цилиндре *a*.



Фиг. 1585.



Фиг. 1587.

Выключение может производиться также соединением обеих сторон цилиндра компрессора двойного действия или остановкой компрессора, при чем сервомотор либо переводит вилку ремня, либо выключает пускатель электромотора, приводящего в движение компрессор.

В последнем случае ВКЭ применяет приспособление ¹⁾, при помощи которого последующий пуск компрессора происходит вхолостую, и подача воздуха начинается только по достижении полного числа оборотов, благодаря чему уменьшаются потери при пуске.

Приемы 2, 3, а также поднятие всасывающего клапана в случае 4 должны производиться при многоступенчатых компрессорах одновременно во всех ступенях.

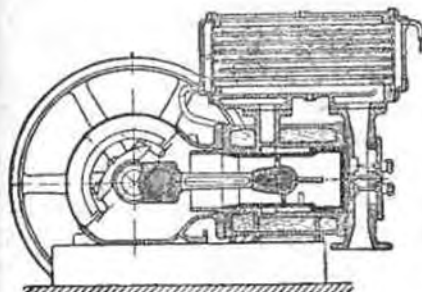
h) Конструкции.

На фиг. 1587 дан схематический разрез горизонтального одноцилиндрового компрессора с дифференциальным поршнем (Саксонского машиностроительного завода, бывш. Гартманн в Хемнице), у которого промежуточный холодильник помещен в раме.

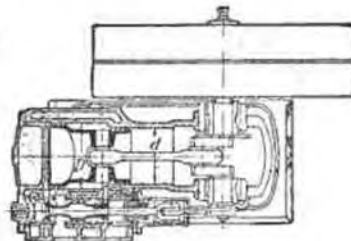
¹⁾ Журн. Z. d. V. d. I. 1924, стр. 6.

Фиг. 1588 дает соответствующую конструкцию фирмы Клейн, Шавлизи и Беккер во Франкентале. Здесь промежуточный холодильник находится на цилиндре. На фиг. 1589 и 1590 показан дифференциальный компрессор с распределением Кестера (FMA, стр. 1114) и с вертикальным холодильником (с U-образно изогнутыми трубами).

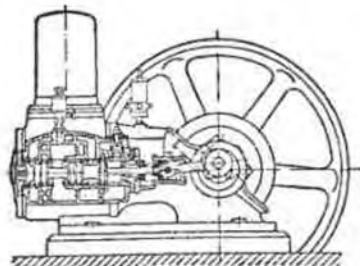
Привод от паровой машины рекомендуется для мощностей свыше 300 P.S.; расположение компаунд также и для паровой части; при этом одноименные цилиндры размещаются один за другим. Если в воздушной части распределение золотниковое, то паровые цилиндры располагаются за воздушными. Поршневые штоки сквозные. Соединение воздушного и парового цилиндров фонарем или стяжными болтами.



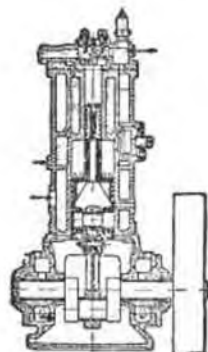
Фиг. 1588.



Фиг. 1589.



Фиг. 1590.



Фиг. 1591.

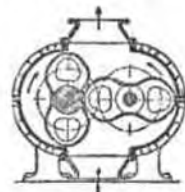
На фиг. 1591 показан вертикальный двухступенчатый компрессор высокого давления завода Бельке, Франкенталь, у которого всасывание в первой ступени производится идеями и управляется поршнем.

О вакуумных насосах для конденсационных установок, в том числе сухих воздушных насосах, ср. стр. 650.

А. Сгустители с вращающимся поршнем.

Сгустители с вращающимся поршнем более пригодны для высоких чисел оборотов, чем таковые с поршнем, двигающимся взад и вперед. Дальнейшими их преимуществами является: отсутствие клапанов и кривошипно-механизма, легкая регулируемость и небольшой вес. Недостатки: сильное изнашивание в местах уплотнения и большие потери вследствие неплотностей. Поэтому они находят применение, главным образом, для небольших давлений.

Конструкция: Вентилятор Рута (фиг. 1592, Эрденского завода, Aergen—Hampeln). Два крыла из чугуна или стали, имеющие форму цифры 8, при помощи одинаковых зубчатых колес, сидящих на их валах, вращаются в противоположных направлениях, так что с одной стороны они касаются стенок камеры, а с другой — соприкасаются между собой непроницаемо для газа. Для определения профиля крыльев служат правила зубчатых зацеплений. Крылья нагнетают всасанный воздух по направлению, перпендикулярному к плоскости, проходящей через ось. Уплотнение лучше всего достигается тщательной обработкой, без применения каких-либо уплотняющих или смазывающих материалов. Обычно вентилятор

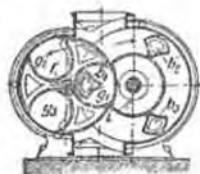


Фиг. 1592.

засасывает сверху (в противоположность фиг. 1592), так что крылья поддерживаются сжатым воздухом, и подшипники разгружаются. Вентиляторы Рута применяются для количества воздуха от 0,5 до 470 м³/мин и давлений до 6000 мм водного столба (обычно же меньше 1 м водного столба). При малых производительностях число оборотов доходит до 1000 и с увеличением количества подаваемого воздуха уменьшается до 170. Подаваемое количество воздуха в м³/сек определяется приблизительно по формуле:

$$v = \lambda n B : 30 \cdot [(\pi D^2 : 4) - F],$$

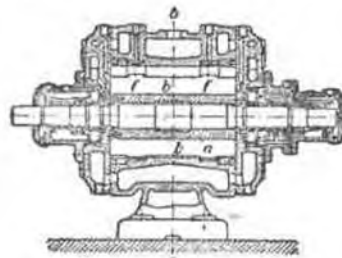
если n — число оборотов в минуту, B — ширина по оси, D — диаметр π и F — поперечное сечение крыльев в м². Коэффициент подачи λ (стр. 1109 и 1 т. стр. 518) уменьшается с повышением давления и сильно зависит от тщательности выполнения (из-



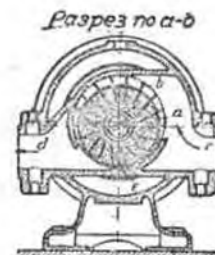
Фиг. 1594.

менные значения колеблются между 0,12 и 0,96). Коэффициент полезного действия также колеблется в широких пределах; при хорошем выполнении и давлениях до 1 м водного столба коэффициент полезного действия = 0,7 до 0,8.

Изображенный на фиг. 1593 и 1594 капсюльный (ротативный) вентилятор фирмы Егер в К^о в Лейпциге ¹⁾ отличается от вентилятора Рута тем, что из двух вращающихся тел только одно служит для передачи вращающего момента, в то время как второе является только распределительным органом и работы не производит. Этим устраняются толчки в местах перемены давления. Рабочим телом является шайба a с тремя параллельными к оси поршнями b_1, b_2, b_3 , которые уплотнены относительно двух неподвижных цилиндров c и камеры. Выемки g_1, g_2, g_3 распределительного тела так велики, что они могут вместить поршни со значительной игрой. Шайба k (фиг. 1593) неподвижна. Вентилятор применяется для подаваемых количеств от 0,17 до 300 м³/мин, при чем число оборотов соответственно уменьшается от 500 до 240. У больших моделей давление доходит до 3, у меньших до 5 м водного столба. Во избежание недопустимых повышений давления при колебаниях расхода воздуха и перегрузки мотора, в нагнетательном трубопроводе помещается предохранительный клапан.



Фиг. 1593.



Фиг. 1594.

У ротационного компрессора ДЕМАГ (фиг. 1595 и 1596), эксцентрически посаженный чугунный бегун a вращается в охлаждаемом цилиндрическом кожухе. В радиальных прорезах бегуна находятся тонкие стальные пластины b . Во время вращения пластины отбрасываются центробежной силой наружу и разделяют рабочее пространство на камеры, которые непрерывно уменьшаются от всасывающего пространства c к нагнетательному пространству d и таким образом сжимают воздух. Кольца f служат для уменьшения изнашивания стальных пластинок b . Все поверхности скольжения смазываются маслом. Этот компрессор применяется для производительностей 0,5 до 42 м³/мин, при давлениях до 3 атм. При более высоких давлениях два компрессора соединяются последовательно, при чем оба бегуна насаживаются на общий вал, и применяется промежуточное охлаждение. Число оборотов в минуту с увеличением количества подаваемого воздуха уменьшается от 1450 до 485. Таким образом ротационные компрессоры применимы как раз в тех областях работы, где турбокомпрессоры (стр. 1125) не находят больше применения.

¹⁾ Ср. журн. Z. d. V. d. L., 1900, стр. 1122, или журн. Stahl und Eisen, 1907, т. 10, стр. 342.

Коэффициент полезного действия, относенный к изотермическому сжатию (стр. 1105) $\eta_{is} = 60$ до 66%¹⁾.

К вышеописанным конструкциям близко подходит водоемкое в воздушный насос завода Сименс-Шуккерт, фиг. 1597. В круглом цилиндрическом кожухе, частично наполненном водой, эксцентрически расположено колесо с лопатками. При вращении колеса образуется водяное кольцо, как показано на фиг. 1597. Так как пространства от 1 до 6, остающиеся между водяным кольцом и втулкой колеса и разделенные между собой лопатками, на правой стороне увеличиваются, а на левой — уменьшаются, то воздух всасывается через серповидное всасывающее отверстие и через такой же формы нагнетательное отверстие нагнетается в трубопровод.

Насос приспособлен для высоких и средних разрежений, а также для сжатия до 1,5 ат/абз., при подачах 0,1 до 40 м³/мин и числах оборотов 1450 до 730 в мин.

В. Центробежные сгустители.

Передача энергии газу производится при помощи вращающегося колеса с укрепленными в нем лопатками, через которое непрерывно протекает газ, при чем происходит повышение как давления, так и скорости газа. Чтобы увеличение скорости также использовать для сжатия, скорость газа по выходе из колеса понижается в направленной аппарате. Процесс такой же, как у центробежных насосов (стр. 1073 и сл.). Расчет производится по уравнениям, данным там.

а) Вентиляторы²⁾.

1. Высота нагнетания и потребная мощность. Вентиляторы называются центробежные воздуходушки, дающие незначительные давления, от нескольких мм до почти 500 мм водяного столба, и сообщающие газу скорость, необходимую для его перемещения. Во многих случаях требуется только перемещение воздуха. Вследствие незначительного повышения давления можно пренебрегать изменением объема и вести расчет точно таким же образом, как для центробежных насосов.

Высота нагнетания в м водяного столба, которую надо ввести в приведенные там уравнения, имеет значение:

$$H = [(p_2 - p_1) : \gamma] + [(c_a^2 - c_0^2) : 2g] \dots \dots \dots (1)$$

[Здесь обозначает:

$p_2 - p_1$ — разность давлений в выходном и входном патрубках вентилятора в м водяного столба:

$$(1 \text{ мм водяного столба} = 1 \text{ кг/м}^2),$$

γ — средняя плотность воздуха в кг/м³, которая должна быть определена из уравнения (8) (стр. 1106) (в общем равна 1,2);

¹⁾ Испытания на компрессоре 500 P. S. швейцарского завода локомотивов в Винтертуре. Ср. Остертаг, Швейцария, журн. Вых. 1925, т. 15, стр. 161.

²⁾ Литература: Е. Висман, Вентиляторы, Берлин, 1925, изд. Ю. Шпрингер.

c_a, c_0 — скорости воздуха в м/сек непосредственно у входа в вентилятор и выхода из него, при чем надо иметь в виду, что разность давлений $p_2 - p_1$ относится к тем же пунктам, в которых производится измерение скоростей.

Вследствие изменения объема при сжатии, уравнение (1) при $p_2 - p_1 = 150$ мм вод. столба дает ошибку в + 1/2%, при 300 мм вод. столба ошибку в + 1%. Если вместо $p_2 - p_1$ ввести значение $2(p_2 - p_1) : (p_2 + p_1)$, то отклонение при 500 мм еще не достигает - 1/2%.

Потребная мощность в P. S. получается из $N_e = QH : 75 \eta = V \gamma H : 75 \eta$, если требуется подавать Q кг сек соответственно V м³/сек. Коэффициент полезного действия η , учитывающий как внутренние, так и механические потери (стр. 1104 и сл.) колеблется между 0,4 и 0,6 у маленьких вентиляторов и доходит до 0,8 у больших машин (шахтных вентиляторов). Об измерении давлений и количества воздуха ср. Правила для испытания вентиляторов и компрессоров, Берлин, 1925, изд. VDI.

Вентилятор может всасывать или вдвигать. Он всасывает, если выбрасывает непосредственно в атмосферу; наоборот, он вдвигает, если всасывает непосредственно из атмосферы. В работе вентилятора при этом нет никакой разницы. Когда вентилятор всасывает, он создает разрежение (депрессию); когда он вдвигает, создается сверхдавление.

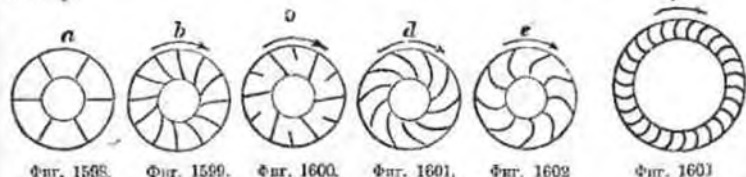
2. Определение размеров. Ход расчета, как указано на стр. 1078, но со следующими замечаниями:

По причине малого удельного веса воздуха скорость $c_a \approx c_0$ у входа в колесо может быть взята значительно большей, чем для воды, и именно тем большей, чем больше высота нагнетания H , соответственно

$$c_a = 0,25 \text{ до } 0,5 \sqrt{2gH},$$

так как здесь невозможна кавитация в том смысле, как это имеет место у воды, и не может также наступить падение давления порядка критического падения. Таким образом при $H = 10$ до 300 м (соответствует $h = 12$ до 360 мм вод. столба) c_a в среднем растет от 5 до 30 м/сек.

Теоретическая высота нагнетания (работа колеса на 1 кг воздуха) H_{th} опять таки $= H : \eta_{th}$, где $\eta_{th} = 0,7$ до 0,9. Скорость в меридиональном сечении $c_{2m} = c_2 \sin \alpha_2$ у выхода из колеса должна быть ванта почти равной c_0 .



Фиг. 1598.

Фиг. 1599.

Фиг. 1600.

Фиг. 1601.

Фиг. 1602.

Фиг. 1603.

Угол лопаток β_2 у выхода при небольших высотах нагнетания иногда берется равным или большим 90°, а лопатки, следовательно, изогнутыми вперед, несмотря на указанные на стр. 1077 недостатки таких лопаток (фиг. 1598—1603). Объясняется это тем, что вызываемое таким профилем ухудшение коэффициента полезного действия в данном случае

с избытком компенсируется уменьшением размеров колеса и первоначальных затрат. К тому же коэффициент полезного действия, вообще говоря, трудно измерить. Однако, при средних и больших высотах нагнетания применяются только изогнутые назад (формы e и d) лопатки.

Форма a с прямыми радиальными лопатками допускает вращение в ту и другую стороны, но очень невыгодна по причине неизбежных ударов при походе, если нет входных направляющих лопаток. Формы b, e, f с изогнутыми вперед лопатками требуют тщательного направления выходящего воздуха, вследствие значительных абсолютных скоростей выхода.

Число лопаток должно быть тем больше, чем меньше радиальная длина лопаток, и чем больше угол β_2 , чтобы обеспечить достаточный путь для воздуха в лопаточных каналах; поэтому у формы f число это больше, чем у формы d .

В качестве воздуходувки низкого давления вентилятор, (в особенности, когда требуются большие числа оборотов) легко получает высокие специфические числа оборотов (стр. 1091), т.е. диаметр входа становится почти равным наружному диаметру, и ширина колеса — очень большой.

Если при этом сохранить чисто радиальный подвод с простыми изогнутыми лопатками, то нарушается правильное движение воздуха, и можно наблюдать, как вблизи открытой стенки колеса воздух из пространства нагнетания течет обратно к всасывающей трубе¹⁾. Помочь этому возможно либо применением двухстороннего притока, либо при помощи концентрических направляющих листов во всасывающей трубе, которые разделяют воздушный поток. При больших пропускных способностях (шахтные вентиляторы) применяются также лопатки с двойной кривизной. Вентиляторы для очень малых давлений (для целей вентиляции) строятся в виде так называемых винтовых вентиляторов с осевым подводом воздуха, чем достигается также уменьшение стоимости изготовления. Окружная скорость колеса при этом значительно больше, чем при радиальном подводе (приблизительно в 1,5 до 3 раз больше). Радиальные колеса могут выполняться также без боковой стенки со стороны входа, при чем открытие с боков лопатки при вращении возможно плотнее прилегают к стенкам камеры (коэффициент полезного действия несколько хуже).

Направляющие лопатки, вообще говоря, не применяются у вентиляторов. Вместо них рекомендуется устройство спиральной камеры с копической выпускной трубой; расчет согл. стр. 1055.

3. Эллиптическое сечение. Характеристические линии. Так как создаваемое вентилятором давление воздуха служит только для преодоления сопротивлений при движении в воздухопроводе, то количество подаваемого воздуха изменится приблизительно пропорционально корню квадратному из высоты нагнетания; то-есть отношение $V \cdot \sqrt{H}$ остается постоянным, при всех числах оборотов вентилятора. Характеристическая линия воздушного пути есть поэтому парабола

с вершиной в начале координат. Согласно стр. 1087, безударный вход имеет место приблизительно при всех числах оборотов, если он осуществлен при одном каком-либо числе оборотов, так что коэффициент полезного действия также только мало меняется. Поэтому количество подаваемого воздуха всегда пропорционально числу оборотов, создаваемая вентилятором разность давлений пропорциональна квадрату, а расходуемая мощность приблизительно пропорциональна 3-ей степени числа оборотов. Так называемое наполнение, т.е. отношение действительной пропускной способности к пропускной способности при безударном входе, точно также остается неизменным. Отношение $V: \sqrt{H}$ называют характером воздушного пути (например, шахтного сооружения). Для правильного выбора вентилятора необходимо предварительно определить эту величину испытанием, при чем количество подаваемого воздуха не должно обязательно совпадать с нормальным.

[Масштаб для суммарных сопротивлений служит поэтому эквивалентное отверстие A . Оно означает площадь сечения такого отверстия, которое оказывает протекающей массе воздуха сопротивление, равное сопротивлению воздушного пути. При коэффициенте сужения α получается $A = V: (\alpha \sqrt{2g \cdot (p_2 - p_1)} : \gamma)$. Для существующих в шахтах отношений принимают $\alpha = 0,65$ (тонкая стенка), $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$, так что $A = 0,38 V: \sqrt{p_2 - p_1}$ (p_2 и p_1 в mm вод. столба). При значении $\alpha = 1$, соответствующем совершенному соплу, получается $A_1 = V \sqrt{\gamma: [2g \cdot (p_2 - p_1)]}$. Последнее значение A_1 вызывают эквивалентным соплом].

Кривые дросселирования, т.е. линии одинаковых чисел оборотов в диаграмме $V_x H_x$, строятся по указанному на стр. 1087 способу.

[Можно отсюда получить одну, пригодную для всех чисел оборотов кривую, которая применима также к любому, аналогично сконструированному во всех деталях, вентилятору¹⁾, если откладывать, как абсциссы, численные значения отношений $A_1: F_a = \frac{\text{равнозначное сопло}}{\text{сечение выходного отверстия}}$ и, как ординаты, цифры давления $\psi = 2g(p_2 - p_1): (\gamma u^2)$. Построение приводит к полной диаграмме безразмерных характеристических линий, если ввести еще кривые величины подачи $\varphi = V: F_a u$, величин мощности $\lambda = L_a: (F_a \frac{\gamma u^3}{2g})$ (L_a — затраченная мощность, за вычетом трения в подшипниках), а также коэффициента полезного действия].

О регуляции ср. стр. 1069. Дросселирование воздушного потока может быть произведено с таким же успехом во всасывающем, как и в нагнетательном трубопроводе. У вентиляторов высокого давления первый способ регулирования даже выгоднее, чем второй.

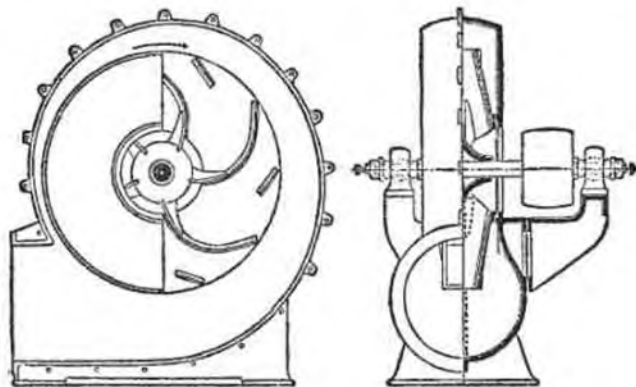
4. Выполнение вентиляторов. На фиг. 1604 показан вентилятор с двухсторонним подводом воздуха, сконструированный для больших окружных скоростей, следовательно, для высоких давлений. Колесо снабжено промежуточными лопастями.

Фиг. 1605 изображает рабочее колесо воздуходувки с косыми лопастями, завода Шиле во Франкфурте, для больших количества воздуха и больших

¹⁾ Ср. Vidmar, Z. F. Turbinenw. 1913, стр. 150; Pfleiderer, Kreiselpumpen, Berlin 1924, Jul. Springer.

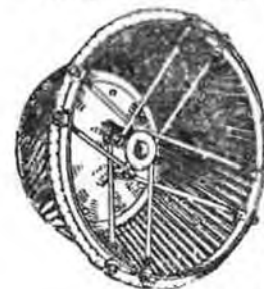
²⁾ Ср. Berlowitz, Z. d. V. d. I. 1925, стр. 36.

чисел оборотов при сравнительно низких давлениях. Благодаря косому расположению лопастей, колесо получает форму гиперболоида. Сопротивляемость центробежным силам невелика.



Фиг. 1604.

У винтовых вентиляторов крылья либо плоские, либо изогнутые в пространстве по образцу судовых гребных винтов. Ср. IV т., I отд., Судостроение. В общем, благодаря осевому подводу воздуха, коэффициент полезного действия как будто ухудшается, но, с другой стороны, винтовые вентиляторы выгоднее по цене.



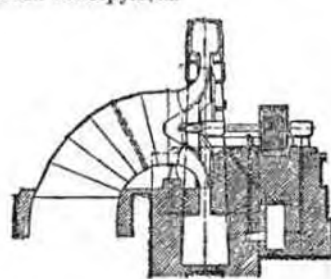
Фиг. 1605.

Шахтные вентиляторы выполняются почти исключительно как центробежные вентиляторы. Фиг. 1606 и 1607 изображают конструкции по системе Раго (Шюхтерман и Кремер в Дортмунде), у которой лопасти двойной кривизны укреплены в колесе с изогнутым днищем и с односторонним всасыванием. Колесо установлено на весу. Коэффициент полезного действия от 80 до 85%. Заслуживает внимания выполнение нижней части камеры из бетона. В последнее время построены шахтные вентиляторы для производи-

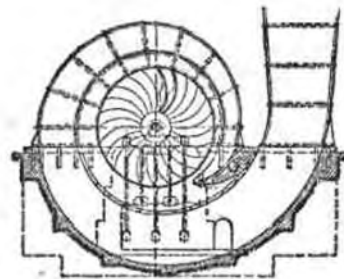
тельности до 20 000 м³/мин с диаметром колеса до 8 м. При больших пропускных способностях крыльчатое колесо может быть насажено непосредственно на коренной вал паровой машины и вполне или частично заменять маховик. При передаче от электромоторов применяется либо непосредственное соединение, либо через промежуточную зубчатую передачу для понижения числа оборотов; последнее имеет место всегда при передаче от паровых турбин.

б) Турбовоздуховки и турбокомпрессоры.

Здесь идет речь о центробежных сгустителях для давлений воздуха до 12 ат. Окружная скорость колеса u_2 обычно имеет значение, близкое к допускаемому предельному. При $u_2 = 180$ до 200 м/сек может быть достигнута в одном колесе отношение $p_2 : p_1 = 1,2$, максимум 1,3, так что при всасывании из атмосферы достигнимо избыточное давление в 0,2 до 0,3 ат. Для получения более высоких давлений необходима многоступенчатая конструкция.



Фиг. 1606.



Фиг. 1607.

[Различие между турбовоздуховкой и турбокомпрессором состоит в том, что последний дает большие степени сжатия (отношения давлений), и поэтому в турбокомпрессоре еще резче выступают все затруднения, связанные с большим числом ступеней и необходимостью энергичного охлаждения воздуха. Применяется только радиальный подвод воздуха к колесу, согласно фиг. 1608—1610].

1. Одноступенчатая неохлаждаемая воздуховка. Пользуясь теми же обозначениями, что и на стр. 1074 для центробежных насосов, и принимая число лопаток бесконечно большим, мы получаем следующее выражение для величины работы лопаток, отнесенной к 1 кг газа:

$$L_{th\infty} = (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_0 \cos \alpha_0) : g = (u_2 c_{2u} - u_1 c_{0u}) : g \dots (1)$$

или же, так как обыкновенно имеет место перпендикулярное вступление в колесо и, следовательно, $\alpha_0 = 90^\circ$,

$$L_{th\infty} = c_2 \cos \alpha_2 u_2 : g = c_{2u} u_2 : g \dots \dots \dots (2)$$

Вследствие конечности числа лопаток действительная работа лопаток L_{th} меньше, чем вышеуказанное значение, как это было подробно обосновано на стр. 1077, и имеет место следующая зависимость, согласно уравнения (10) (стр. 1078):

$$L_{th} = L_{th\infty} \left(1 + 2 \frac{\mu}{z} \frac{\sin \beta_2}{1 - (r_1 : r_2)^2} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Здесь обозначает:

- z — число лопаток,
- β_2 — угол лопаток у выхода,
- r_2, r_1 — радиусы окружности выхода и окружности входа лопаточных каналов,

μ — некоторое опытное число, которое может быть принято равным от 1,6 до 2.

Диаграммы скоростей лопаток точно такие же, как изображенные на фиг. 1529 и фиг. 1537.

Удельная работа лопаток L_{lh} (работа на окружности колеса) получается из работы адиабатического сжатия L_{ad} (к которой должна быть прибавлена разность скоростных напоров у выхода и входа) по уравнению:

$$L_{lh} = L_{ad} \cdot \eta_h, \dots \dots \dots (4)$$

где «гидравлический коэффициент полезного действия»

$$\eta_h = L_{ad} : L_{lh} = L_{ad} : (L_{ad} + Z_h)$$

учитывает гидравлические потери Z_h (проявляющиеся в виде потери напора) между впускным и выпускным патрубками (но не в трубопроводах). Коэффициент η_h , вполне соответствующий коэффициенту полезного действия η_m на окружности колеса в паровых турбинах, следует выбирать при применении направляющих лопаток между 0,70 и 0,88 в тем большем, чем больше количество подаваемого воздуха. L_{ad} определяется из уравнений (2) или (2а) (стр. 1103), при чем должно быть принято во внимание сказанное на стр. 1105 и 1106 относительно выбора p_2 , v_1 , t_1 , p_2 .

Приближенное уравнение. Так как перепад давления в отдельных ступенях невелик, то целесообразнее пользоваться следующими приближенными уравнениями, благодаря его простоте

$$L_{ad} = p_1 v_1 y \left(1 - \frac{y}{2x} + \frac{x+1}{6x^2} y^2 \right) = \\ = RT_1 y \left(1 - \frac{y}{2x} + \frac{x+1}{6x^2} y^2 \right), \dots \dots \dots (4а)$$

где $y = (p_2 : p_1) - 1$, $x = c_p : c_v = 1,4$.

При значениях $p_2 : p_1$ до 1,4 ошибка составляет максимум $+1/2\%$, при $p_2 : p_1 = 1,5$ максимум $+10/100$; если опустить последний член, то до $p_2 : p_1 = 1,17$ ошибка максимум $-1/2\%$, до $p_2 : p_1 = 1,24$ макс. -1% .

При расчете многоступенчатых машин лучше всего пользоваться диаграммой TS . Точность обычных таблиц, однако, недостаточна, в виду незначительности перепада давления в одном колесе. Можно самому изготовить диаграмму в желательном масштабе, если иметь в виду, что в пределах давлений, с которыми приходится иметь дело при расчете центробежных сгустителей, линии конгруэнтны и сдвинуты параллельно одна другой в направлении оси S , так что расстояние между двумя линиями в направлении оси S везде одинаково. Поэтому надо построить только одну из этих линий, уравнение которых есть $S = c_p \ln(T : 273)$. Для любого отношения давлений $p_2 : p_1$ соответствующее вертикальное перемещение есть $S_2 - S_1 = -AR \ln(p_2 : p_1)$, где p_1 относится к произвольно выбранной начальной линии, а p_2 к новой.

При помощи уравнений (2) до (4), пользуясь способами расчета, приведенными на стр. 1078 и сл. для центробежных насосов, можно расчитать рабочее колесо и направляющий аппарат (будь то направляю-

щее колесо, гладкое кольцевое пространство или спиральная камера), если вместо H вставить L , так как все указанные там правила остаются в силе и здесь.

При определении размеров можно пренебречь уменьшением объема вследствие сжатия в колесе до давления в зазоре, так как это уменьшение мало зависит на размеры. Скорости выбирают большие, чем для воды, а именно: $c_0 \approx c_s$ следует взять равным 0,2 до $0,3 \sqrt{2g L_{ad}}$ что дает для скорости значения между 30 и 50 м/сек. Ширина колеса снаружи уменьшается, так что скорость в меридиальном сечении остается одинаковой или немного убывает.

Выбор угла лопаток β_2 производится таким же образом, как у центробежных насосов (стр. 1076). Но так как здесь необходимо, во избежание слишком большого числа ступеней, получить в одной ступени возможно больший перепад давления, то угол β_2 берется несколько большим, чем там, а именно, между 35 и 70° . Это необходимо также из соображений прочности лопаток. Число лопаток больше, чем в центробежных насосах. Отношение диаметров $D_2 : D_1 \approx 1,8$ до $2,2$.

Численный пример Расчет рабочего колеса одноступенчатой воздуходувки на $330 \text{ м}^3/\text{мин}$, 2000 мм вод. столба (или $\text{kg} \cdot \text{m}^2$), с приводом от электромотора при посредстве промежуточной зубчатой передачи, так что число оборотов может быть свободно выбрано. Высота барометра 737 мм рт. столба при 15° , соота. 1 ат abs, наружная температура $t_0 = 15^\circ$.

Вследствие потери давления по несмаванному трубопроводу, оцениваемой в 100 мм , нагревании воздуха приблизительно на 3° ($t_1 = 15 + 3 = 18^\circ$) и потери в зазоре в 6% , действительный подаваемый объем воздуха и секунду больше, а именно:

$$V' = 1,06 \frac{10000}{9900} \cdot \frac{273 + 18}{273 + 15} \cdot \frac{330}{60} = 6,00 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Далее при $p_1 = 10000 - 100 = 9900 \text{ kg/m}^2$, $p_2 = 10000 + 2000 = 12000 \text{ kg/m}^2$, $T_1 = 291$, $x = 1,4$, $R = 29,27$ (пренебрегаем влажностью воздуха), получается по уравнению (2) (стр. 1103) или уравнению (4а) (стр. 1126) $L_{ad} = 1700 \text{ kgm kg}$ или m воздушного столба.

Пусть колесо укреплено на валу на несущ. Пусть далее $c_s = 0,26 \sqrt{2g L_{ad}} = 0,26 \sqrt{2g \cdot 1700} = 47,5 \text{ м/сек}$; поэтому (фиг. 1531),

$$D_s^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 6,00 : 47,5 = 0,126 \text{ м}^2, \text{ и } D_s = 0,4 \text{ м. Отсюда } D_1 = 400 + 30 =$$

$= 430 \text{ мм}$, $D_2 = 2D_1 = 860 \text{ мм}$. Если принять $\eta_h = 0,82$, то из уравнения (4) получается $L_{lh} = 1700 : 0,82 = 2075 \text{ м}$, а из уравнения (3), при $z = 20$, $\beta_2 = 50^\circ$, $\mu = 1,7$, получается

$$L_{lh \infty} = 2075 \left(1 + \frac{2 \cdot 1,7 \sin 50^\circ}{20 \cdot 1 - (0,5)^2} \right) = 2075 \cdot 1,17 = 2440 \text{ м.}$$

Теперь из уравнения (17) (стр. 1079), при $\beta_2 = 50^\circ$, $c_{2m} = 40 \text{ м/сек}$, следует

$$n_2 = 40 : (2 \text{ tg } 50^\circ + \sqrt{40 : (2 \text{ tg } 50^\circ)^2 + 9,81 \cdot 2440}) = 172,6 \text{ м/сек, следовательно, } n = 172,6 \cdot 60 : (\pi \cdot 0,86) = 3840 \text{ об./мин.}$$

Для определения угла лопаток β_1 вычисляем $u_1 = \pi \cdot 0,43 \cdot 3840 : 60 = 86,3$ m/sec и, приняв $c_0 = 48$ m/sec и отношение $t_1 : (t_1 - c_1) = 1,08$, получаем $c_1 = 1,08 \cdot 48 = 51,9$ m/sec, $\tan \beta_1 = 51,9 : 86,3 = 0,602$, $\beta_1 = 31^\circ 5'$.

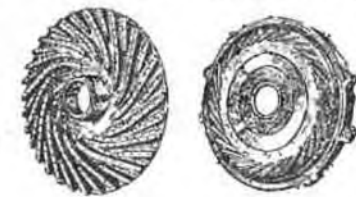
Проверяя значение $t_1 : (t_1 - c_1)$ при толщине лопаток (из листовой стали) у входа $s_1 = 3$ мм, получаем:

$$\sigma_1 = \frac{3}{\sin \beta_1} = \frac{3}{0,516} = 5,8; \quad t_1 = \pi \cdot 430 : 20 = 67,5 \text{ мм}; \quad t_1 : (t_1 - c_1) = 67,5 : 61,7 = 1,091.$$

Так как $t_2 : (t_2 - c_2) \approx 1$, то ширина колеса у выхода $b_2 = 6,00(\pi \cdot 0,86 \cdot 40) = 0,056$ м = 56 мм, а у входа $b_1 = 6,00 : (\pi \cdot 0,43 \cdot 48) = 0,093 = 93$ мм].

Вычерчивание лопаток производится, как указано на стр. 1081. В отдельных конструкциях лопатки по всему протяжению получают прямолинейный профиль (компрессоры Рагго) и в таком случае угол β_2 не может уже быть выбран свободно. Направление воздуха в лопаточных каналах в этих конструкциях оставляет желать многого. В случае плоских лопаток (сильно уширяющихся каналов) обычно половину всех лопаток выполняют в виде промежуточных лопаток (фиг. 1608), чтобы не слишком стеснить вход.

Выполнение рабочего колеса. Лопатки делаются из листовой стали толщиной обычно в 1 до 3 мм, в поперечном сечении изогнуты — или Z-образно и приклепаны к боковым стенкам (фиг. 1609 и 1610).



Фиг. 1608.

Фиг. 1609.



Фиг. 1610.

Если лопатка отковывается с большей толщиной стенки, то заклепочные винты могут быть врезаны в лопатку на обеих сторонах (Браун-Бовери и Ко) или же протянуты через дыры, расположенные целиком внутри поперечного сечения лопатки. Оба последние способа укрепления встречаются в особенности при очень узких колесах. Колеса получают тяжелыми, но с гладкими каналами, без загнутых бортов и заклепочных головок.

Лопатка с загнутыми бортами подвержена в кромке особенно значительным изгибающим усилиям от центробежных сил. При уменьшающейся снаружи ширине колеса место наибольшего напряжения лопатки лежит не на внешней, а на внутренней окружности, или вблизи ее, так как квадрат ширины лопатки и $\sin(90 - \beta)$ внутри больше, чем снаружи. Риск мещается не очень малый радиус кривизны борта и большая толщина лопатки (а также применение более легкого строительного материала).

Колеса и диск из высококачественной мартеновской или низкопроцентной никелевой стали либо приклепываются к втулке, либо же — при больших окружных скоростях — изготавливается из одного куска с втул-

кой (фиг. 1610). Толщина стенок увеличивается по направлению к втулке. Наибольшим напряжениям подвержена верхняя шайба, которая должна быть выполнена особенно прочной во внутренней части. При расчете надо иметь в виду, что профиль диска не имеет плоскости симметрии.

Уплотнение подвижного колеса со стороны давления зазора осуществляется в увеличенном диаметре верхней шайбы при помощи лабиринта.

Расчет направляющих лопаток (как на стр. 1084). Между концами подвижных и направляющих лопаток остается свободное от донатов кольцевое пространство в 20 до 80 мм, так как иначе возникает раздражающий свистящий шум от неравномерности потока. Из тех же соображений Остертаг рекомендует малый шаг, а следовательно, большое число направляющих лопаток.

Пример. Для предыдущего примера ход расчета следующий: за подаваемый объем принимаем всасываемый объем воздуха, несмотря на повышение давления и температуры в зазоре (величины которых на объем противоположны). Поэтому $V = 330 : 60 = 5,5$ m³/sec; дальше: касательная составляющая скорости за рабочим колесом $c_{2u} = gL_{2h} : u_2 = 9,81 \cdot 2075 : 172,6 = 118,1$ m/sec.

Меридиональная составляющая

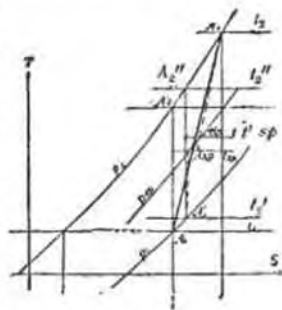
$$c_{2m} = V : \pi D_2 b_2 = 5,5 : (\pi \cdot 0,86 \cdot 0,056) = 36,4 \text{ m/sec},$$

$$\tan \alpha_2 = c_{2m} : c_{2u} = 36,4 : 118,1 = 0,308; \quad \alpha_2 = 17^\circ 9'.$$

Этот угол наклона α_2 струи сохраняют неизменным при протекании через свободное от донатов кольцевое пространство до входа в направляющие лопатки, если боковые стенки между собой параллельны, и если пренебречь трением. Вследствие малого шага донатов можно, вместо эвольвенты (как указано на стр. 1084), осуществить (очертить) вход по прямой, наклонной под углом α_2 (фиг. 1609, 1617). Ширина направляющих лопаток $b_3 = b_2 + 2$ мм = 58 мм. У многоступенчатых компрессоров обводные каналы к следующей ступени выполняются, как продолжения направляющих каналов, чем достигается непрерывное понижение скорости до скорости входа в следующую ступень. Чтобы избежать донатов трением путь в гладком кольцевом пространстве не получился слишком длинным, угол α_2 не должен быть меньше 15° .

Кривая состояния. Кривая состояния $A_1 A_1' A_{sp} A_2' A_2$ (фиг. 1611) в общем мало отклоняется от простой соединительной прямой $A_1 A_2$ между начальной и конечной точками, так что у компрессора можно руководствоваться этой прямой и в основу расчетов положить фиг. 1571. Вся сообщаемая газу работа, т.е. внутренняя работа, составляет:

$$L_1 = (t_2 - t_1) \epsilon_p : A = L_{2h} + Z_{sp} + Z_r \dots \dots \dots (5)$$



Фиг. 1611.

Для нашего численного примера трение колеса Z_r и потеря в зазоре Z_{sp} на 1 кг подаваемого газа, а следовательно и η_i вычисляются следующим образом:

$$Z_r = 15 u_2^3 D_2^2 \cdot 10^{-5}; V = 15 \cdot 172,6^3 \cdot 0,86^2 \cdot 10^{-5}; 5,5 = 104 \text{ м;}$$

давление

$$Z_{sp} = V_{sp} L_{ch}; V,$$

где потеря в зазоре

$$V_{sp} = \mu_i \pi D_i b_i \sqrt{\frac{3}{4} u_2^2 + \frac{1}{4} u_1^2 - (u_2 - c_{3i})^2}$$

так как при числе уплотняющих колец $z = 2$ коэффициент втечения

$$\mu_i = 1: \sqrt{1,5 + 1,1 \cdot z} = 1: \sqrt{1,5 + 1,1 \cdot 2} = 0,52,$$

то при ширине внутреннего зазора $b_i = \frac{1}{2} \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}$, потеря в зазоре

$$V_{sp} = 0,52 \pi \cdot 0,43 \cdot 0,0005 \sqrt{\frac{3}{4} \cdot 172,6^2 + \frac{1}{4} \cdot 6,3^2 - (172,6 - 118,1)^2} =$$

$$= 0,052 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

$$Z_{sp} = 0,052 \cdot 2075 = 5,5 = 20 \text{ м,}$$

$$I = 2075 + 104 + 20 = 2199 \text{ м; } \eta_i = 1700:2199 = 0,775,$$

значит $\eta_i < \eta_{th}$.

Так как $t_2' - t_1 = \Delta L_{ad}; c_p = 1700 (427 \cdot 0,241) = 16,7^\circ$, то

$t_2 - t_1 = 16,7:0,775 = 21,6^\circ$, и таким образом определяется конечная точка A_2 кривой состояния.

Хотя потеря в зазоре составляет только $(0,052:5,5) \cdot 100 = 0,95\%$, тем не менее сделанное на стр. 1127 допущение о значительно большем значении этой величины правильно, так как центробежные машины следует рассчитывать с большим запасом.

2. Многоступенчатая турбовоздуховина без охлаждения. Вопрос о том, необходима ли одноступенчатая или многоступенчатая конструкция, разрешается еще до проектирования, на основании следующей зависимости, соответствующей уравнению (18), стр 1080:

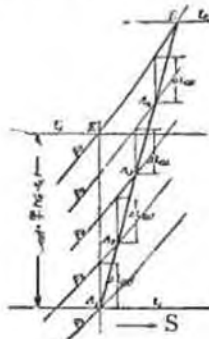
$$\Delta L_{ad} = v \cdot u_2^2:2g, \dots (6)$$

где v берется большим, чем при центробежных насосах (но причине большего числа лопаток, большего угла β_2), а именно: $v = 1$ до 1,3; u_2 не должно превышать 180 до 200 м/сек, максимум 225 м/сек.

Если опять-таки принять для отдельных ступеней ползатроническую кривую состояния и внутренний коэффициент полезного действия η_i считать одинаковым для всех ступеней, то соединительная линия $A_1 E$ между начальными состояниями $A_1, A_2, A_3 \dots$ в отдельных

ступенях через весь ступенчатый представляется одной и той же ползатронической $A_1 E$ (фиг. 1612) с показателем

$$n = \frac{\kappa \eta_i}{1 - (1 - \eta_i) \kappa}, \dots (7)$$



Фиг. 1612.

так что, согласно I т., стр. 517, температура меняется по уравнению 1):

$$T: T_1 = (p: p_1)^m, \dots (8)$$

$$\text{где } m = (n-1): n = (\kappa-1): (\kappa \eta_i) \dots (9)$$

и поэтому конечная температура $T_e = t_e + 273$ получается из уравнения

$$T_e = T_1 (p_e: p_1)^m, \dots (10)$$

если p_e — конечное давление. При этом можно взять η_i на практике или, вычислить его по способу, указанному в конце предыдущего параграфа, знаяши для V среднее значение между начальным и конечным объемами.

Если, как обычно это делается, диаметры колес и углы лопаток во всех ступенях одинаковы, то одинаков и перепад давления ΔL_{ad} в каждой ступени.

Между ΔL_{ad} , числом ступеней i и суммарным адиабатическим перепадом $L_{ad} = (t_e' - t_1) c_p$: A существует в этом случае зависимость

$$\Sigma \Delta L_{ad} = i \Delta L_{ad} = \mu L_{ad} \dots (11)$$

где число μ ($= 1,01$ до $1,03$) учитывает то обстоятельство, что вследствие работы трения сумма отдельных перепадов давления больше суммарного перепада.

Это видно из расходящегося направления (дивергенции) изобар или из рассмотрення процесса в диаграмме pv (фиг. 1613), ибо при достаточно большом числе ступеней должно быть $\Sigma \Delta L_{ad} = \text{пл. } A_1 E' F G$ (которая, однако, не совпадает с L_{ad}), так что $\mu = \frac{\text{пл. } A_1 E F G}{\text{пл. } A_1 E' F G}$. Вследствие этого внутренний коэффициент полезного действия всего ступенчатого

меньше такового отдельных ступеней, а именно:

$$(\eta_i)_{\text{общ}} = \frac{L_{ad}}{(1: \eta_i) \cdot \Sigma \Delta L_{ad}} = \eta_i: \mu$$

$$\text{с другой стороны } (\eta_i)_{\text{общ}} = (T_e' - T_1): (T_e - T_1),$$

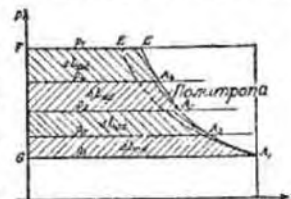
$$\text{откуда } \mu = \eta_i (T_e - T_1): (T_e' - T_1) = \eta_i L_i: L_{ad}$$

Таким образом, величина μL_{ad} в уравнении (11) проще всего вычисляется из

$$\mu L_{ad} = \eta_i L_i = \eta_i c_p (T_e - T_1): A \dots (12)$$

При помощи уравнения (11) определяется число ступеней i , если установлена величина перепада ΔL_{ad} в отдельных ступенях.

По мере сжатия подаваемый объем газа уменьшается. Поэтому ширина колес у входа и выхода должна соответственно уменьшаться от ступени к ступени. Промежуточные значения либо берутся из энтропийной диаграммы в точках A_2, A_3, A_4 и т. д. (при чем целесообразно вычертить диаграмму в увеличенном масштабе, как указана на стр. 1126/27), либо же вычисляются следующим образом.



Фиг. 1613.

Отношение давлений (степень сжатия) для любой n -ой ступени получается, согласно уравнения (3) стр. 1104,

$$\alpha_n = \left(\frac{\Delta t_{ad}}{T_n} + 1 \right)^{1/(z-1)}$$

причем $P_{n+1} = \alpha_n P_n$ (13)

Здесь $\Delta t_{ad} = \Delta L_{ad} : c_p$ обозначает одинаковый для всех ступеней адиабатический перепад температуры, а T_n — абсолютную температуру при входе в n -ую ступень, которую проще всего определять из

$$T_n = T_1 + (t_2 - t_1) [(n-1) : z] \dots \dots \dots (14)$$

Так как на основании уравнений (13) и (14) давление и температура в каждой ступени известны, то этим дается и $v_n = RT_n : P_n$. В виду возрастания T_n от ступени к ступени степень сжатия наибольшая в первой ступени и в следующих ступенях все уменьшается. Вместо уравнения (13) можно для определения промежуточных давлений пользоваться также уравнением (10) совместно с уравнением (14).

3. Многоступенчатый турбокомпрессор с охлаждением. Даже при хорошем охлаждении камеры процесса сжатия в рабочем и в направляющем колесе мало различается от того же процесса в неохлажденном компрессоре, так как охлаждение дает себя знать, главным образом, только в обводном канале, где не происходит уже заметного сжатия. Расчет отдельной ступени может, поэтому, производиться таким же образом, как указано в п. 1 для одноступенчатой неохлажденной воздуходувки. Только единственный перепад ΔL_{ad} другой и зависит от рода и способа охлаждения.

а) Промежуточное охлаждение между отдельными неохлаждаемыми группами ступеней. Из-за затруднений при изготовлении и обслуживании, связанных с охлаждением кожуха, часто ограничиваются устройством промежуточного охлаждения только между группами ступеней. Для обычных конечных давлений в 6 до 8 ат изб. достаточно 3 промежуточных холодильника, по одному за каждой группой в 2 до 4 колес.

Согласно выводу на стр. 1107 для поршневых компрессоров, получаемая при охлаждении экономия в работе достигает наибольшей величины в том случае, если на каждую группу ступеней приходится одинаковая адиабатическая работа. Тогда степень сжатия, приходящаяся на каждую группу, одинакова; при k группах, следовательно $k-1$ холодильников, она равна

$$\alpha_{gr} = \sqrt[k]{P_2 : P_1} \dots \dots \dots (15)$$

В этом случае точки, представляющие состояние газа у входа в отдельные группы, делят на диаграмме TS отрезок изотермы между начальной точкой и конечной изобарой на равные части. Расчет отдельных неохлаждаемых групп производится точно, как в п. 2.

Так как, однако, целесообразно охлаждать воздух в промежуточных холодильниках опять до температуры его перед поступлением в компрессор (ср. стр. 1108) а с другой стороны все холодильники, из конструктивных соображений, делаются одинаковыми, то оказывается целесообразным степень сжатия в нижних группах ступеней взять несколько

большой, чем в верхних, при чем распределение делается при помощи диаграммы.

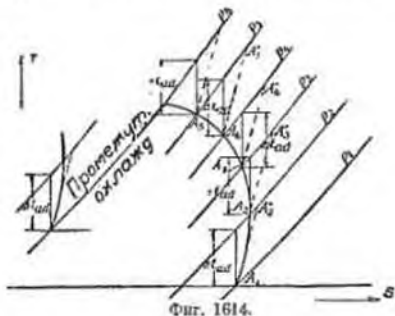
Диаметры колес в пределах одной группы одинаковы, но в верхних группах меньше, чем в нижних, чтобы с одной стороны избежать слишком узких колес, а с другой ограничить потери в зазоре и от трения колес, которые возрастают пропорционально площади газа.

б) Охлаждение кожуха. Первоначальные затраты меньше, чем при а). Поверхность охлаждения должна быть доступна. Чтобы разместить в кожухе достаточную поверхность охлаждения, направляющим лопаткам, составляющим одно колесо с омываемыми водой стенками кожуха, придают значительные радиальные размеры. Действие охлаждения становится заметным лишь при известном нагревании газа. Поэтому в диаграмме соединительная линия точек состояния у входа в отдельные ступени направлена вначале направо вверх (фиг. 1614) и при более высокой температуре отклоняется влево. Кривая эта может быть построена вычислением, при чем значение температуры за отдельными ступенями должно быть определено по величине поверхности охлаждения (I том, стр. 497, II том, стр. 1107).

Если кривая состояния известна из опыта, т.-е. на основании измерений у построенных компрессоров, то, нанося в виде вертикальных отрезков найденные вычислением адиабатические температурные перепады Δt_{ad} для отдельных ступеней, как показано на фиг. 1614, переходят от начала к концу. Влияние охлаждения за первой ступенью проявляется на фиг. 1614 в перемещении точки A_2'' при неизменяющемся давлении P_2 в A_2 , за второй ступенью — в перемещении точки A_3'' в A_3 и т. д. Оно сильно возрастает вверх.

Диаметры колес на и в данном случае, соответственно уменьшению объема, уменьшать вверх группами. Можно также, как показано на фиг. 1614, соединить охлаждение кожуха с промежуточным охлаждением.

4. Условия работы, регулирование, привод. Если подаваемый объем отличается от того при безударном входе, то для получения соответствующей высоты нагнетания надо построить (по способу, указанному на стр. 1087 для центробежных насосов) кривую дросселирования, которая дает ход изменения работы адиабатического сжатия L_{ad} в зависимости от всасываемого объема, при неизменном числе оборотов. Кривую дросселирования многоступенчатого сгустителя получают из соответственных кривых для отдельных ступеней. При этом необходимо пользоваться TS -диаграммой и прежде всего перевести на нее кривую дросселирования первой ступени; при этом значения ΔL_{ad} дают давления, а горизонтальные прямые, проведенные на вертикальном расстоянии



Фиг. 1614.

$AL_{из} = A \cdot (L_{из} + Z_{сп} + Z_v)$ от начальной точки дают в пересечении с изобарам точки состояния. Если нанести сюда конечные объемы, то может быть сделано перенесение следующей кривой дросселирования и т. д. Из верхней кривой IS -диаграммы определяется тогда результирующая кривая ($V_{зр}, L_{ад,а}$) или также кривая ($V_{зр}, p_{в}$). Промежуточное охлаждение должно быть соответствующим образом принято во внимание. Если в основу полученной таким образом результирующей кривой положить закон конгруэнтности (который здесь во всяком случае приблизительно остается в силе), то становится возможным определить, для случая регулирования изменением числа оборотов, те числа оборотов, которые соответствуют отдельным производительностям, таким образом, как на стр. 1089 для центробежных насосов.

Точка касания A горизонтальной касательной делит кривую дросселирования на лежащую справа устойчивую ветвь (фиг. 1607, стр. 1125) и лежащую слева неустойчивую ветвь. Если подаваемое количество падает при неизменяющемся числе оборотов ниже того, которое соответствует точке A , то падает давление в нагнетательном патрубке компрессора. В результате воздух из сети течет обратно, т. е. компрессор „завалится“. Когда же вследствие этого обратного течения в продолжающегося расхода воздуха давление в сети упадет ниже давления холостого хода, компрессор начинает опять подавать воздух, пока снова не наступит „захлебывание“, если за это время расход воздуха не превысит объема, соответствующего точке A . Компрессор таким образом начинает работать толчками („качать“), что нарушает правильный ход работы. Сила в продолжительность колебаний тем больше, чем больше объем воздухопроводной сети. Чтобы это явление наступало только при возможно наименьших подачах, целесообразно иметь резко поднимающиеся кривые дросселирования с короткой неустойчивой ветвью, которые получаются (по системе ВВС) при применении поворотных направляющих лопаток. При уменьшении подаваемого объема последние устанавливаются на меньшую ширину каналов.

Предотвращение „качания“. При растянутой сети рекомендуется ставить в нагнетательной линии по возможности легкий или слабый обратный клапан. Фирма FMA применяет приспособление (наподобие указанного на стр. 1115 для поршневых компрессоров), при помощи которого всасывающая труба автоматически закрывается, как только давление воздуха, вследствие малого забора его, превосходит известную величину. Одновременно нагнетательный патрубок отключается от воздухопроводной сети и соединяется с атмосферой, так что нижние ступени работают в вакууме. Так как при таком холостом ходе воздух сильно нагревается, то должно подаваться небольшое количество воздуха для охлаждения. По системе АКГ¹⁾ обратный клапан в нагнетательной линии снабжен обводной трубой с соленоидом, через который, по закрытии клапана, направляется из сети слабый обратный ток, не дающий компрессору возобновить подачу, пока давление в сети не упадет ниже определенной, устанавливаемой по желанию, величины. Другое средство предотвратить явление „качания“ состоит в том, что при

уменьшении подаваемого количества ниже критической величины открывается продувочный клапан на нагнетательной трубе.

„Качание“ наступает реже, если регулирование производится уменьшением числа оборотов. Нагрузка в этом случае может меняться между 65 и 110% нормальной величины.

Регулирование при постоянном числе оборотов целесообразнее производить—в противоположность центробежным насосам—дросселированием во всасывающем воздухопроводе, а не в нагнетательном, так как уменьшение удельного веса всасанного воздуха смягчает удар при входе и уменьшает трение колес и потери в вентряках.

При дросселировании регулирования, и при регулировании изменением числа оборотов установка количества подаваемого воздуха производится большей частью от руки.

Употребляются также автоматические регуляторы на постоянное давление или постоянное подаваемое количество.

Наиболее подходящим способом передачи силы центробежным сгустителям является непосредственное соединение с паровой турбиной (большая часть с турбиной двух давлений или с турбиной для отработавшего пара), так как с одной стороны возможно при этом регулирование изменением числа оборотов, а с другой стороны число оборотов может быть достаточно большим. При электрическом приводе необходимо, в случае не очень больших количеств подаваемого воздуха, включить промежуточную зубчатую передачу для повышения числа оборотов, а регулирование возможно только дросселированием, так как применяется исключительно переменный ток.

5. Пределы производительности и числа оборотов. Центробежные сгустители приспособлены только для больших количеств подаваемого воздуха, так как в противном случае потери от трения колес и неплотностей поглощают слишком большой процент мощности, и каналы получаются слишком узкими. Наименьший объем воздуха, на который может быть построен турбокомпрессор или турбовоздуходувка, зависит от высоты нагнетания и числа оборотов отдельного колеса. Семьдесят на выводу на стр. 1091 можно написать:

$$V \geq k \Delta L_{ад}^{3/2} : n^2 \dots \dots \dots (18)$$

где $\Delta L_{ад}$ —приходящаяся на одно колесо работа, а число k берется тем меньшим, чем больше внутренние потери допускаются. Для обычных условий можно принять $k \approx 250$. При многоступенчатом сжатии, при $\Delta L_{ад} \approx 2000$ м, получаем из предыдущего неравенства

$$V \geq 22 \cdot 10^6 : n^2 \dots \dots \dots (19)$$

например, для $n = 3000$ $V \geq 2,45$ м³/сек = 9000 м³/ч,

При 10000 м³/ч и многоступенчатой конструкции лучше всего выбрать число оборотов около 4500.

Воздуходувки для небольших производительностей, как например, для авиационных моторов, получают до 12000 об./мин. Фирма FMA строит небольшие компрессоры с охлаждаемым кожухом и колесами из легкого металла для 600 м³/ч, 18000 об./мин и 6 атм наб.

6. Коэффициенты полезного действия. Гидравлический коэффициент полезного действия (= коэффициенту

¹⁾ Журн. AEG-Mitteilungen 1925, II, стр. 263.

полезного действия на окружности колеса) $\eta_{\text{в}} = 0,7$ до $0,88$. Механический коэффициент полезного действия (без промежуточной зубчатой передачи) $\eta_{\text{м}} = 0,95$ до $0,98$. Адиабатический коэффициент полезного действия (для неохлаждаемых сгустителей) $\eta_{\text{ад}}$ у небольших моделей $0,66$, возрастая вместе с производительностью до $0,78$. Изотермический коэффициент полезного действия при конечных давлениях в 6 до 8 ат изб. $\eta_{\text{из}} = 0,56$ для $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$, возрастая до $0,70$ для $80000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расход пара на 1000 м^3 всосанного воздуха при 6 до 8 ат изб. составляет в турбинах, питаемых свежим паром, 600 до 850 кг , в зависимости от температуры и давления пара и от производительности компрессора, а в турбинах, питаемых мягким паром, 1200 до 1400 кг .

Фиг. 1615.

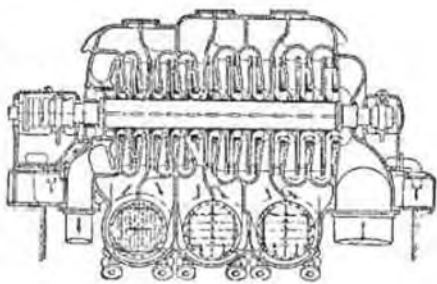
7. Конструкция. У многоступенчатых сгустителей вал обыкновенно делается гибким. Критическая угловая скорость может быть приблизительно определена из $\omega_{\text{к}}^2 = 1,08 g / y_0$, где y_0 — наибольший прогиб от собственного веса, g — ускорение силы тяжести¹⁾.

Каждое колесо должно быть выбалансировано статически, кроме того должна быть сделана динамическая выбалансировка всего ротора.

Давление на ось воспринимается либо упорным подшипником, либо расположенным у вращательного конца кожуха лабиринтным поршнем, либо тем и другим вместе.

На фиг. 1615 дан вертикальный разрез турбокомпрессора FMA на 7 ат изб. с охлажденным кожухом, без промежуточного охлаждения.

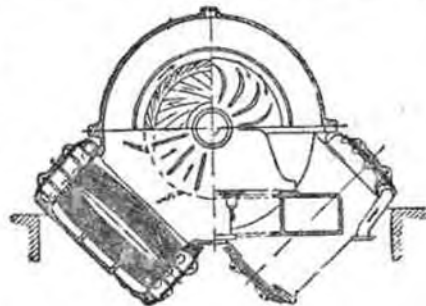
Промежуточные стенки между отдельными ступенями полые и снабжены просторными водяными камерами, к которым есть доступ снаружи.



Фиг. 1616.

¹⁾ С. С. Стеклова. Паровые и газовые турбины изд. 5 или 6. Берлин изд. Ю. Шпрингер, стр. 78. П. Ф. Лейдерер. Ротационные насосы, Берлин 1924, Ю. Шпрингер, стр. 282.

Фиг. 1616 и 1617 показывают компрессор конструкции Броун-Бовери с тремя промежуточными холодильниками между неохлаждаемыми группами ступеней. Кожух очень несложный, цельный, разделенный только по средней горизонтальной плоскости. Направляющие колеса отдельные, вставные. Подводящие и отводящие каналы за холодильниками расположены по окружности таким образом, что не получается никакого удлинения по оси. Холодильники размещены сбоку компрессора, в наклонном положении. Каждый из них разделен на две половины с самостоятельными водяными камерами, так что можно открывать и чистить водяные камеры во время хода машины, не разбирая трубопровода.



Фиг. 1617.

С. Специальные конструкции сгустителей для газов.

Здесь следует отметить конструкции, в которых какая-нибудь движущая жидкость (пар, воздух, вода) приходит в непосредственное соприкосновение с подлежащим нагнетанию газом.

а) Струйные сгустители (стр. 1101).

Вытекающая из сопла рабочая жидкость с большой скоростью всасывает подлежащий нагнетанию газ, смешивается с ним и в приемном сопле уменьшает свою скорость, так что ускоренный газ сжимается. Коэффициент полезного действия очень мал. Поэтому струйные сгустители находят применение только там, где расход энергии не имеет особого значения, а главное внимание обращается на простоту устройства, дешевизну, малые эксплуатационные расходы и небольшое занимаемое место.

1. Пароструйные воздуходувки. Применяются для небольших разностей давлений, например, как всасывающие или нагнетательные приборы для усиления тяги дымовых труб и как дымососы. В последнее время применяются также для отсасывания воздуха из конденсаторов паровых турбин, при чем получают очень высокие вакуумы, а отработавший пар используется для подогрева питательной воды. О способе действия различных конструкций ср. стр. 643.

2. Водоструйные воздуходувки. Находят применение на рудниках для специальной вентиляции путем присоединения к оросительной линии, а также для получения высоких вакуумов в конденсационных устройствах, при чем нагнетающий рабочую воду центробежный насос часто соединен конструктивно с струеобразующими соплами (ротационный воздушный насос)

Принимое сопло должно вначале сужаться, а затем расширяться (наподобие сопла Лаваля), если требуется высокое разрежение. Если задаться законом изменения давления в приемном сопле между данной величиной давления всасывания (т.е. парциального давления p_{11} воздуха) и конечным давлением, то соответственные площади поперечного сечения сопла f получаются по Pfliegerer'у¹⁾ из

$$f = [(G_1 \cdot RT : p) + (G_w : 1000)] : c \dots \dots (20)$$

$$c = \sqrt{\frac{G_1 RT \ln(p_{\max} : p) + [G_w (p_{\max} - p) : 1000]}{G_w (1 - \zeta)}} \dots \dots (21)$$

Здесь обозначают:

- G_1 — количество воздуха в кг/сек, которое надо отсосать,
- G_w — вес потока воды в кг/сек,
- T — абсолютную температуру воды,
- $R = 49,27$ газовую постоянную воздуха,
- c — скорость смеси в сечении f в м/сек,
- p — давление смеси в сечении f в кг/м²,
- p_{\max} — наибольшее значение, которое может быть достигнуто, при котором c еще вательно, $c = 0$,
- ζ — опытное число, которое надо взять приблизительно между 0,5 и 0,6.

Необходимая входная скорость воды в пространстве отсасывания получается из предыдущего уравнения для c , если p_{\max} из аэра. см. в p полагаем с равным парциальному давлению p_{11} воздуха в пространстве отсасывания; p_{\max} должно быть больше давления выхода в виду опасное и обратных токов.

Объем воды не должен быть слишком малым по сравнению с начальным объемом воздуха, так как в противном случае воздух будет недостаточно обогатиться водой и могут наступить обратные токи.

3. Струйчатая воздуходувка. Применяется при непосредственных дымоосадах котельных топок и для особой вентиляции в шахтах посредством присоединения к воздушному трубопроводу. В последнем случае коэффициент полезного действия по Меркису²⁾ определен в 0,28—0,7%.

б) Гидравлические компрессоры³⁾.

Вода падает по вертикальной спускной трубе, имеющей в верхнем конце сопло, по которому воздух всасывается устремляющейся водой. Воздух смешивается с водой и статически уплотняется, так что воздушные компрессоры обладают достаточно высоким коэффициентом полезного действия. Внизу спускной трубы отделяется воздух, и свободная от воздуха вода устремляется по подъемной трубе к выходу. Возникшее при этом давление соответствует высоте столба вытекающей воды. Падение до 100 м используется на одной ступени. Большие напоры подразделяются, так как гидравлические компрессоры по способу работы приближаются к струйным воздуходувкам и коэффициент полезного действия их ухудшается. В пределах одного падения от 4 до 120 м, коэффициент полезного действия η в переводе на изотермическое уплотнение составляет $\approx 0,6$ до 0,7.

[Американские установки достигают до 6000 P.S. В Германии особенно применяются в Эрцрубене (Гарц). Расход материала и обслуживание очень незначительное].

¹⁾ См. журн. Z. d. V. d. I., 1914, стр. 965.
²⁾ Журн. Glückauf 1924, № 43, стр. 1027.
³⁾ Более подробно об устройстве и применении Z. d. V. d. I. 1910, стр. 1903.

IV ОТДЕЛ.

СВЕТ, ЛАМПЫ и ОСВЕЩЕНИЕ.

Под редакцией доцента Института Народного Хозяйства
 П. И. Мартынова.

1. Основные понятия, методы измерений и расчет освещения.

A. Основные фотометрические величины и единицы¹⁾.

Между важнейшими основными фотометрическими величинами и единицами существуют соотношения, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Основные фотометрические величины.

Величины		Единицы	
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
1. Количество света	Q	люмен-час	Lmh
2. Световой поток	$F = Q : T$	люмен	Lm
3. Сила света	$I = \frac{F}{\omega}$	свеча междуводная (или Гельфера)	K (HK)
4. Освещенность	$E = \frac{F}{S} = \cos i \frac{I}{r^2}$	люкс	Lx
5. Яркость	$B = \frac{I_e}{s \cdot \cos \epsilon}$	свеча на см ²	K/cm ²
6. Удельное излучение света	$R = F : s$	люмен на см ²	Lm/cm ²

Где обозначено: T — время в часах; ω — телесный угол, как отношение части шаровой поверхности к квадрату радиуса последней; S — поверхность в м²; s — поверхность в см²; r — длина (расстояние) в м; i — угол падения; ϵ — угол излучения.

В Германии величинами люмен и люкс приняты не международные, а Гельфер-люмен и Гельфер-люкс.

¹⁾ Entwurf der Kommission für Einheiten und Bezeichnungen der D.R.G. (Deutsche Bezeichnungstechn. Gesellschaft, Berlin), ETZ 1925, стр. 471.

Пояснения:

Количество света есть полученная или отданная некоторым телом световая энергия, оцеляемая по действию на человеческий глаз.

Световой поток есть отношение количества света к промежутку времени, в течении которого происходило излучение¹⁾.

Сила света точечного источника света в некотором направлении есть отношение светового потока к телесному углу, в котором заключен данный световой поток. Источники света конечных размеров могут быть приняты по своему действию за точечные источники только на достаточно большом расстоянии.

Величина освещенности или освещенность некоторой поверхности есть отношение падающего на данную поверхность светового потока к величине этой поверхности.

Ярность поверхности в некотором направлении есть отношение силы света поверхности в этом направлении к нормальной проекции поверхности на плоскость перпендикулярную этому направлению.

Удельное излучение света некоторой поверхности есть отношение излучаемого поверхностью светового потока к величине всей поверхности [лучения].

Единицы силы света и освещенности.

Основной единицей для всех фотометрических измерений служит сила света. Единица силы света (горизонтальная свеча) воспроизводится лампой Гейнера, в которой горит амил-ацетат при строго определенном размере фитиля и высоте пламени 40 мм²⁾.

[Кроме свечи Гейнера в последнее время стала широко применяться «Международная свеча», установленная соглашением трех государств: Англии, Франции и Соединенных Штатов Северной Америки.

Международная свеча воспроизведена специально приготовленными электрическими лампами накаливания, хранящимися в виде эталонов в метрологических лабораториях вышеуказанных государств.

1 международная свеча = 1,11 ПК.

Для удобства пересчета свечей Гейнера в международные и в candel (единица силы света, прежде часто применявшаяся во Франции) может служить таблица 2.

Примечание: Печатанные в ней более контрастным шрифтом числовые соотношения приняты Международной Осветительной Комиссией 27 июня 1911 года.

В технической практике при фотометрических измерениях применяются, как промежуточные эталоны, электрические лампы накаливания, сверенные в различных учреждениях, как например, в Physikalische-Technischen Reichsanstalt в Германии, и других.

Примечание: В СССР в настоящее время принята международная свеча и законная проверка промежуточных эталонов силы света и светового потока производится в Главной Палате Мер и Весов в Ленинграде.

¹⁾ В настоящее время основной величиной является световой поток, а все другие величина производные. См. I В 1, стр. 1141, III А а, стр. 1169, III В а, стр. 1171.
²⁾ Подробности см. Liebenow's Praktische Photometrie, стр. 411 до 419, Braunschweig 1907, Vieweg и сы.

Таблица 2. Соотношения между различными единицами силы света.

Обозначение	Переводный коэффициент		
	Свеча Гейнера	Международная свеча	Candel
Свеча Гейнера	1	0,9009	0,083
Международная свеча	1,11	1	0,1033
Candel	10,76	9,885	1

Единица освещенности называется просто «люкс³⁾», если за единицу силы света принимается международная свеча, а расстояния измеряются в метрах. В Германии и других странах, где употребляется свеча Гейнера, единица освещенности называется Гейнер-люкс. В англо-саксонских странах расстояние измеряется в футах (1 фут = 12 дюймов = 0,3048 метра), а поэтому единица освещенности носит название: фут-свеча, Гейнер-фут. и т. д. Для пересчета единиц освещенности служит таблица 3.

Таблица 3. Соотношения между различными единицами освещенности.

Обозначение	Переводный коэффициент				
	Гейнер-люкс (H.Lm/m ²)	Гейнер-фут (H.Lm/ft ²)	Люкс (Lm/m ²)	Фут-свеча (Lm/ft ²)	Candel-метр (Candel Lm/m ²)
Гейнер-люкс	1	0,0929	0,9009	0,0837	0,093
Гейнер-фут	10,764	1	9,694	0,9009	1,001
Люкс	1,11	0,1031	1	0,0929	0,1033
Фут-свеча	11,95	1,11	10,764	1	1,111
Candel-метр	10,75	0,999	9,685	0,8997	1

В. Оценка источников света¹⁾.

1. Источники света путем фотометрирования оцениваются в первую очередь по их световому потоку. Оценка источников света по световому потоку имеет преимущество по сравнению с оценкой их по силе света (среднюю горизонтальную, среднюю сферическую, среднюю полусферическую), как это делалось прежде и еще применяется и в настоящее время.

¹⁾ Области измерения³⁾ имеют норму комиссии Германского Осветительного Общества. ETZ. 1925. S. 471.

[Средняя горизонтальная сила света I_h определяется как среднее арифметическое из всех значений сил света в плоскости перпендикулярной к оси источника света и проходящей через его световой центр.

Средняя сферическая сила света I_0 источника есть сила света некоторого равномерно излучающего по всем направлениям источника с равновеликим световым потоком. Она определяется соотношением

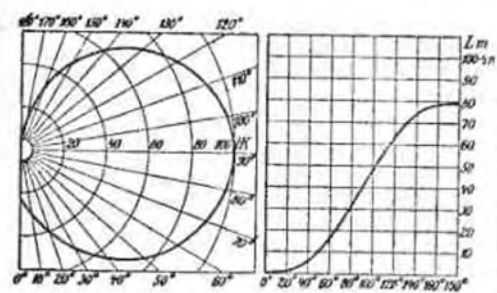
$$F = 4\pi \cdot I_0.$$

Нижняя полусферическая сила света I_{\ominus} (верхняя полусферическая I_{\ominus}) есть сила света некоторого равномерно излучающего по всем направлениям в нижнюю (верхнюю) полусферу источника с равновеликим в нижней (верхней) полусфере световым потоком. Она определяется соотношением:

$$F_{\ominus} = 2\pi I_{\ominus}; \quad F_{\oplus} = 2\pi I_{\oplus}; \quad I_0 = (I_{\ominus} + I_{\oplus}) : 2.$$

2. Источники света должны измеряться в условиях соответствующих их эксплуатации и должны быть указаны основные требования к ним, а также и вспомогательные устройства.

3. Световое излучение источника света в зависимости от направления характеризуется кривой распределения света и кривой распределения светового потока.



Фиг. 1618 а и б.

При лампах с сильно несимметричным излучением кривая распределения света должна даваться для нескольких меридианов плоскостей.

Кривая распределения светового потока в прямоугольных координатах дает в конусах с вертикальной осью и в зависимости от половины угла раствора величину световых потоков.

Для наглядного представления этих двух способов изображения на фиг. 1618 а и б приведены примеры изображения распределения силы света и светового потока обыкновенной лампы с вольфрамовой нитью.

4. Световой отдачей лампы является отношение излучаемого светового потока в люменах к потребляемой энергии в ваттах или кило-

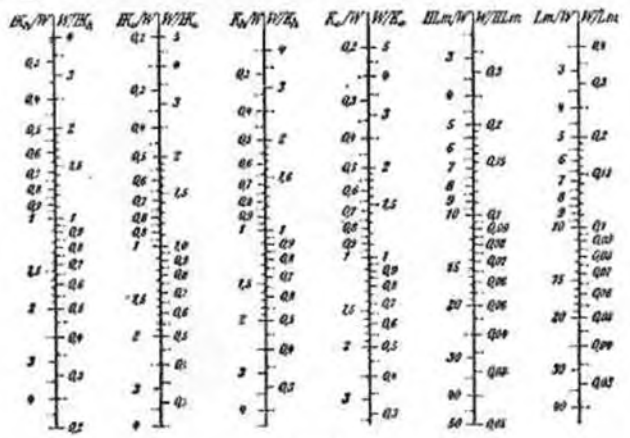
грамм-калориях в час. Световая отдача обозначается в $\frac{Lm}{W}$ или $\frac{Lmh}{kgcal}$.

В случае, если расход горючего лампы указывается в литрах или граммах на Lmh , то нужно указывать теплотворную способность данного горючего. Потеря энергии в добавочных приспособлениях должна также включаться в полное потребление энергии.

[До последнего времени было принято указывать вместо величины световой отдачи, удельное потребление энергии, которое относилось в более старых сортах ламп (вакуумные с металлической витью) к средней горизонтальной силе света $\frac{W}{HK_h}$, а в более новых

(газонаполненных) — к средней сферической силе света $\frac{W}{HK_0}$.

Световая отдача в Lmh является 4π — кратной величиной от обратного значения удельного потребления, выраженного в $\frac{W}{HK_0}$. Для быстрого пересчета и определения световой отдачи и удельного потребления энергии служит номограмма фиг. 1619, в которой шкалы с указате-



Фиг. 1619.

вателями K и Lmh относятся к международной свече. Шкалы с указателями NK_h и K_h относятся к лампам с соотношением $NK_0 = 0,8NK_h$, или $K_0 = 0,8K_h$, т. е. угольным лампам, лампам с металлическими прямыми нитями, вертикальным газовым горелкам и т. п.].

5. Коэффициентом полезного действия арматуры (находящейся в исправном состоянии) называется отношение светового потока лампы с арматурой к световому потоку голы лампы. Для сравне-

ния коэффициента полезного действия различных арматур необходимо также указывать род арматуры, кривую распределения света и яркость арматуры.

6. Источники света характеризуются следующими данными:

- потреблением (в ваттах, литр/час, грамм/час),
- световым потоком и световой отдачей,
- рабочим напряжением; давлением, составом и теплотворной способностью горючего,
- продолжительностью службы и полезной продолжительностью службы для электрических ламп накаливания.

Полезной продолжительностью службы лампы является время, в течении которого световой поток ее уменьшился на установленное число процентов (обычно 20%) от первоначальной величины светового потока.

С. Фотометрические измерения.

Непосредственное световое измерение какого либо источника света путем сравнения его с нормальным источником света — невозможно. Оценка источников света представляет некоторые затруднения вследствие различной окраски света и различной яркости. Поэтому все фотометрические измерения производится косвенным путем, именно помощью сравнения освещенностей двух однородных поверхностей, освещаемых сравниваемым и нормальным источниками света.

В большинстве случаев при фотометрических измерениях установка приборов производится на равную яркость обеих поверхностей, при чем в наиболее благоприятных случаях можно достичь точности в 1%. Вывод большую точность удается получить при установке на равный контраст. В этом случае оценивают две освещенные поверхности, которые одинаково сильно выделяются на окружающем их фоне, при чем освещенность последнего должна быть равномерной. В обоих случаях наиболее благоприятные условия измерения будут при возможно одинаковой окраске света, при резком разграничении соприкасающихся полей сравнения и при средних (порядка 30 Lx) освещенностях последних.

При различно окрашенных источниках света стараются при измерениях добиться возможно полного исчезновения пограничной линии между двумя полями сравнения, или уменьшают разницу в окраске света применением подходяще-окрашенных промежуточных источников света (кажущий или ступенчатый метод). Для уменьшения разницы в окрасках применяются также светофильтры.

[Специальным прибором для данных целей является мигающий фотометр, основанный на том, что глазу преподносятся попеременно с большой частотой поверхности, освещенные сравниваемыми источниками света. Возникающие, вследствие этого, в глазу мигания исчезают только в случае равенства освещенностей. Число миганий влияет на измерение ¹⁾.

Установка для измерения силы света (фотометр) состоит обычно из двух частей: из прибора для сравнений (собственно самый фотометр или так называемая фотометрическая головка) и измери-

тельного приспособления, дающего возможность количественно оценить результат измерения.

Одним из простейших приборов для сравнения сил света двух источников света является фотометр Буизена, в первоначальной конструкции состоявший из масляного пятна на белом бумажном фоне. Весьма совершенным прибором является фотометр Дюммера и Бродхуна, основная часть которого состоит из двух стеклянных призм, снабженных соответствующими выемками и склеенных по гипотенузным поверхностям, так называемое „идеальное масляное пятно“. Последний прибор употребляется в виде обыкновенного и контрастного фотометра].

Простейшим и употребительнейшим измерительным приспособлением является фотометрическая скамья, изменение освещенности на которой производится помощью изменения расстояния между источниками света и поверхностями сравнения. При равной освещенности поверхностей сравнения силы света сравниваемых источников света будет относиться как квадраты расстояний между ними и поверхностями сравнения (закон квадратов расстояний).

При нормальных лучах света (прожектора и т. п.) закон квадратов расстояний не применим. Для источников света с оптическими системами расстояния должны отсчитываться от действительного или мнимого изображения источника света.

При фотометрировании сильных источников света, для уменьшения освещенностей поверхностей сравнения фотометра применяются: диафрагма „Ирис“, решетки, пластинки дымчатого и молочного стекла, а также пранципальный сектор, который ослабляет освещенность в отношении площади центрального угла сектора ко всей площади круга.

При применении всех перечисленных способов ослабления освещенности на фотометре нужно вводить поправочные коэффициенты.

[Сильно распространенным прибором является переносный фотометр Вебера, в котором фотометрическое равновесие достигается изменением расстояния между вспомогательным источником света и молочной пластинкой].

Для определения кривых распределения света, источники света измеряются в разных плоскостях и под различными углами. Источники света, симметричные относительно оси вращения, фотометрируются обычно на вращающемся приспособлении. Если хотят избежать выведения из вертикального положения самого источника света, то применяют вращающиеся зеркала, при чем следует принимать во внимание коэффициент отражения зеркала.

[Для определения средней сферической и средней полусферической силы света одним измерением употребляется шаровой фотометр Ульбрихта. Шаровой фотометр представляет собою шар, выкрашенный внутри диффузно отражающей белой краской. Освещенность любого элемента внутренней поверхности шара, благодаря многократному диффузному отражению света, пропорциональна световому потоку лампы. Освещенность внутренней поверхности измеряется на молочном стекле окна шара, которое защищено краем от непосредственно падающих на него

¹⁾ См. подробности: Liebenthal Praktische Photometrie, Braunshweig, 1907; Urpenberg-Monach, Lehrbuch der Photometrie München-Verlag, 1912.

лучей света лампы. Измерения обычно производятся при помощи какого либо переносного фотометра, чаще всего фотометра Вебера.

Величины освещенности наружных пространств, внутренних помещений определяются простыми переносными приборами (люксметр по Бекштейну; люксметр Osram).

Точные фотометрические измерения возможны только при тщательном уходе и наблюдении за всей измерительной установкой; в особенности требуют большого внимания применяемые эталоны. (См. специальную литературу).

D Вычисление силы света, светового потока и освещенности.

а) Вычисление силы света (светового потока).

Средняя сферическая и средняя полусферическая силы света могут быть определены из кривой распределения света, если кривая, подобно с определенным на стр. 1142, дает среднюю силу света под разными углами.

1. **Графический метод Руссо.** При определении средней сферической или средней полусферической сил света (светового потока общего верхнего или нижнего) по методу Руссо, кривая распределения света, данная в полярных координатах, преобразуется в прямоугольные координаты. Площадь, ограниченная новой кривой, прямо пропорциональна световому потоку.

(Самое преобразование производится следующим образом: из центра полярной кривой проводится круг с произвольным диаметром $2r$ и делится радиусами на определенное число углов; на точек пересечения радиусов с окружностью проводятся линии перпендикулярно к некоторой прямой, параллельной вертикальной оси (фиг. 1620). Из точек пересечения перпендикулов с прямой откладываются на последних соответствующие значения I_α и этим самым I_α дается как функция $\cos^2 \alpha$ в прямоугольных координатах.

Фиг. 1620.

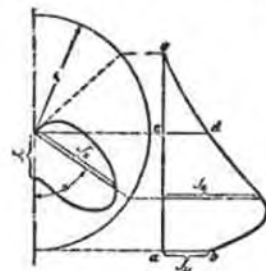
Тогда имеем:

$$I_{\text{O}} = \frac{F}{4\pi} = \frac{1}{2r} \int_0^\pi I_\alpha \cdot r \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{1}{2r} (\text{площадь } abc),$$

где f — коэффициент, соответствующий выбранному масштабу.

Соответственно $I_{\text{O}} = \frac{f}{r}$ (площадь edc) и

$$I_{\text{O}} = \frac{f}{r} \cdot (\text{площадь } abde).$$



Точность этого метода зависит от точности чертежа и планиметрирования площади. (Определение площадей смотри том I, стр. 171, отдел математики).

2. **Метод вспомогательных линий.** Вместо того, чтобы определять среднее значение силы света из всех ординат кривой Руссо, можно получить это значение как среднее из некоторого числа ординат, соответствующих значениям I_α той же кривой, лежащих на равном расстоянии друг от друга. Для этого достаточно кривой в полярных координатах. В продаже имеется специальная бумага для нанесения кривой распределения света с 20 вспомогательными радиусами (Schmidt & Paensch, Berlin).

3. **Расчетный метод.** Для вычислений, не требующих точности большей 5%, достаточно измерить силу света под углами 30° , 60° , 80° , 100° , 120° и 150° и вставить полученные результаты в приближенную формулу 1).

$$I_{\text{O}} = (I_{30} + 2I_{60} + I_{80} + I_{100} + 2I_{120} + I_{150}) : 8$$

$$I_{\text{O}} = (I_{30} + 2I_{60} + I_{80}) : 4.$$

б) Вычисление освещенностей.

Для практических целей особо важное значение имеют горизонтальная E_H и вертикальная E_V освещенности. Величина освещенности на поверхности перпендикулярной лучу, так называемая нормальная освещенность E_N , имеет большей частью значение, как исходная величина при вычислениях.

1. **Освещение от отдельного источника света.** См. фиг. 1621, где,

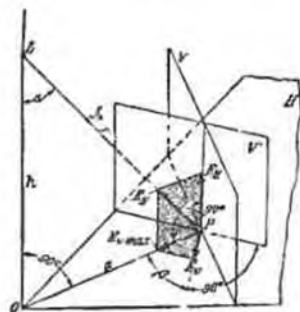
I_α — сила света источника L под углом α ,

$h = OL$ — расстояние источника света от горизонтальной поверхности H (высота подвеса) в метрах,

$a = OP$ — расстояние точки пересечения луча с горизонтальной поверхностью H до точки O пересечения перпендикула, опущенного из L на поверхность H в метрах,

$r = LP$ — расстояние источника света от упомянутой точки P в метрах,

β — угол между любой вертикальной поверхностью V , поверхностью V' , перпендикулярной лучу OP .



Фиг. 1621.

Тогда имеем:

$$E_H = \frac{I_a \cdot \cos \alpha}{r^2} = \frac{I_a \cdot h}{r^3} = \frac{I_a \cdot h}{(a^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{I_a \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} =$$

$$= \frac{I_a \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha}{a^2}$$

$$E_V = \frac{I_a \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta}{r^2} = \frac{I_a \cdot a \cdot \cos \beta}{(a^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{I_a \cdot a \cdot \cos \beta}{(a^2 + h^2)^{3/2}} =$$

$$= \frac{I_a \cdot \sin^3 \alpha \cdot \cos \beta}{a^2} = \frac{I_a \cdot \sin \alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \cos \beta}{h^2},$$

$$E_{V \max} = \sin \alpha (I_a : r^2) \text{ и т. д. } (\beta = 0; \cos \beta = 1).$$

$$E_N = \sqrt{E_H^2 + E_{V \max}^2} = \frac{I_a}{r^2}.$$

[Сообразно с желаемой точностью вычислений рекомендуется брать углы через каждые 5° или 10°.

Для облегчения вычислений служит таблица 4.

Таблица 4. Значения $\sin \alpha$, $\cos \alpha$, $\cos^2 \alpha$, $\cos^3 \alpha$ и $\sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$.

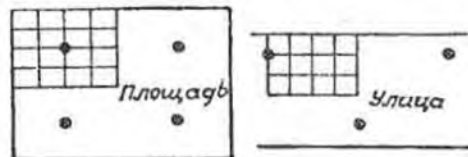
α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\cos^2 \alpha$	$\cos^3 \alpha$	$\sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$	α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\cos^2 \alpha$	$\cos^3 \alpha$	$\sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$
0°	0,000	1,00	1,00	1,00	0,000	50°	0,77	0,64	0,41	0,27	0,32
5°	0,087	0,996	0,99	0,99	0,087	55°	0,82	0,57	0,33	0,19	0,27
10°	0,17	0,98	0,97	0,96	0,17	60°	0,87	0,50	0,25	0,13	0,22
15°	0,26	0,97	0,93	0,90	0,24	65°	0,91	0,42	0,18	0,076	0,16
20°	0,34	0,94	0,88	0,83	0,30	70°	0,94	0,34	0,12	0,040	0,11
25°	0,42	0,91	0,82	0,74	0,35	75°	0,97	0,26	0,067	0,017	0,065
30°	0,50	0,87	0,75	0,65	0,38	80°	0,98	0,17	0,030	0,0052	0,030
35°	0,57	0,82	0,67	0,55	0,38	85°	0,99	0,087	0,0076	0,00066	0,0076
40°	0,64	0,77	0,59	0,45	0,38	90°	1,00	0,000	0,000	0,000	0,000
45°	0,71	0,71	0,50	0,35	0,35						

Графический метод для определения горизонтальной освещенности из полярной кривой дан Marghal'ем и Blondel'ем).

2. Вычисление освещенности от нескольких отдельных источников света. Если имеется ряд источников света $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$, которые создают в некоторой точке освещенности E_1, E_2, \dots, E_n , то результирующая горизонтальная освещенность будет равна

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = \sum_1^n E_n.$$

В противоположность общей горизонтальной освещенности, всегда равной сумме отдельных горизонтальных освещенностей, общая вертикальная освещенность равняется сумме отдельных вертикальных освещенностей лишь тогда, когда источники света находятся с одной стороны освещаемой поверхности.



Фиг. 1622.

3. Средняя освещенность поверхности. Чтобы определить среднюю освещенность E_m некоторой неравномерно освещенной поверхности S , делит последнюю на некоторое большое число n равных между собой мелких поверхностей s (прямоугольники) фиг. 1622 и освещенность определяется или вычисляется в средних точках каждого прямоугольника. Если осветительная установка, как это часто бывает на практике, симметрична, то, естественно, вычисления или измерения могут быть упрощены.

Средняя освещенность равна:

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_1^n E_n.$$

Вместо вычисления освещенности точным методом по полярной кривой, вычисления могут производиться на основании светового потока, так как по 1А величина освещенности некоторой поверхности равна отношению светового потока, падающего на эту поверхность, к величине последней. Следовательно, если F_1, F_2, \dots, F_n являются световыми потоками, падающими на n малых поверхностей s , то:

$$E_n = \frac{F_n}{s}$$

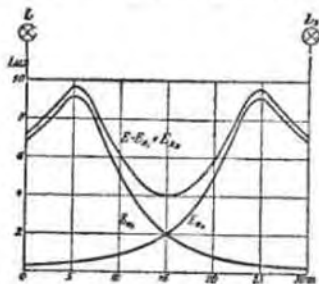
$$E_m = \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{F_n}{s} = \frac{1}{ns} \sum_1^n F_n = \frac{1}{S} \sum_1^n F_n = \frac{F}{S}.$$

Таким образом, если известны площадь и световой поток на нее падающий, то средняя освещенность ими вполне определяется.

Это соотношение действительно для всех источников света, независимо от направления падающего светового потока и от формы источников света. Оно может также применяться в случаях освещения при помощи больших диффузно-светящихся поверхностей, как это часто встречается при отраженном освещении, если при этом известны освещаемая поверхность и падающий на нее световой поток. Во внутренних помещениях с небольшими размерами, освещенность усиливается отражением от потолка и стен. Вызываемое этим увеличением освещенности, по приближительной оценке, может составлять при довольно светлых потолках и сте-

ных от 10% до 20% при очень светлых отражающих поверхностях от 20% до 50%.

4. Кривые освещенности и равномерности освещения. Для характеристики какой-либо осветительной установки служат кривые освещенности (фиг. 1623), по которым горизонтальная освещенность какой-нибудь точки определяется ординатой, а расстояние этой точки от основания источника света определяется абсциссой. По этим кривым можно одновременно судить о равномерности освещения¹⁾, т. е. об отношении минимальной освещенности к максимальной, при чем для оценки неравномерности также важно знать и расстояние между точками максимальной и минимальной освещенности.



Фиг. 1623.

Линии, соединяющие точки равной освещенности на некоторой поверхности называются изолюксами.

II. Источники света.

Источники света с физической точки зрения можно разделить на источники с температурным излучением и на источники с люминесцирующим излучением.

При температурном излучении вещество источника света накаливается до высокой температуры и испускает видимое излучение. При люминесцирующем излучении большая часть не наблюдается повышения температуры вещества источника света; излучение возбуждается помощью других физических процессов и оно не зависит от температуры.

[Представителями первых источников света являются: свечи, керосиновые лампы, лампы накаливания и дуговые фонари с чистыми углями; ко второму типу излучателей относятся ртутные лампы и лампы основанные на свечении в разреженных газах; оба рода процессов протекают параллельно в пламенных дугах].

А. Общие сведения об освещении приборами, основанными на непосредственном сжигании горючего.

Различают получение света помощью светящегося пламени, в котором светящимся телом является углерод, выделенный из горючего (пламя свечи, керосиновой, бензиновой и репейного масла лампы, плоские и армандовые газовые горелки), в получение света при помощи накаливаемых тел (газокалидный свет) в которых излучателем является несгоревший осев, состоящий из окисей цинка и тория, накаливаемый бесцветным бушневским пламенем.

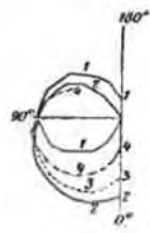
¹⁾ См. также III А в, стр. 1169.

Распределение света¹⁾ в пространстве зависит от формы источника света, его положения в пространстве и распределения в нем температуры.

[Кривые распределения света мало зависят от применяемого горючего, в главном образом от формы и расположения тел накаливания, а также от затеивающих частей горелки или лампы. Обыкновенная газовая горелка излучает преимущественно вверх и потому большей частью употребляется с рефлектором или светорассеивающим колпаком. Так как под горелкой всегда находятся части, дающие тень, то освещенность под горелкой и вблизи ее незначительна; поэтому высота подвеса невелика. Инвертные же горелки излучают вниз больше, чем вверх и потому подвешиваются выше. Прозрачные колпаки и светорассеивающие стекла имеют незначительное влияние. Для достижения равной освещенности, в случае употребления обыкновенных горелок, нужно применять горелки в 1,5 или 2,5 раза большей силы света, чем в случае применения инвертных горелок. Распределение света потребительных горелок, без рефлекторов и рассеивающих колпаков, приведено на фиг. 1624. Указанные ниже числовые значения отнесены к горизонтальной силе света, принятой = 100 (табл. 5).

Таблица 5. Средняя сила света.

Обыкновенная горелка	Инвертные горелки			
	Кривая 1	Кривая 2	Кривая 3	Кривая 4
Сферическая	74	86	—	—
Верхняя полусфера	80	64	—	—
Нижняя полусфера	68	108	102	94



Фиг. 1624.

Сила свет хороших калильных сеток из рами или искусственного шелка в горелках низкого давления увеличивается в течении первых 100 часов горения приблизительно на 5%; после 600—800 часов она достигает 80% от первоначальной. При высоком давлении применяются только калильные колпаки из искусственного шелка; сила света их увеличивается лишь в течении первых 10 часов горения и падает уже после 100 часов; 80% первоначальной величины получается после 300 часов горения].

В. Свечи.

Составные части: стеарин, парафин или смесь обоих (композиционные свечи), часто применяется воск, сермагст или сало; фитиль делается из хлопка и пропитан бурой или борной кислотой. Расход горючего материала: от 6 до 9 г/ч, сила света 0,8 до 1,5 НКв = 0,6 до 1,2 НКг.

¹⁾ Распределение света у обыкновенных вертикальных газовых горелок см. Лангманску (Jour. f. Gas u. Wasserzetter, 1888, стр. 629), у инвертных газовых горелок Diehl (там же 1890, стр. 382), у керосиновых ламп Molasch (там же 1908, стр. 61).

Таблица 6. Удельное потребление на свечу.

Горючее	Теплотворная способность		На 1 НК _h /h			На 1 НК _д /h		
	Высшая	Нижняя	г	kg-cal	ватт	г	kg-cal	ватт
Старин	9000	8900	6-9	53-80	62-93	8-12	71-107	84-125
Парафин	11000	9.00	6	58	67	8	78	91
Композиция	10300	9300	7	65	76	9,3	86	100

С. Лампы для жидкого горючего ¹⁾.

а) Керосиновые лампы.

Горючее: высшая теплотворная способность 1 kg керосина 11 000 kg-cal, низшая 10 300 kg-cal; удельный вес 0,79 до 0,83 kg/dm³; температура кипения 150—270°С.

Лампы с света димса пламенем для малых сил света с плоским или круглым фитилем. Их величину измеряют линиями ^{'''}. В продаже чаще всего встречаются горелки от 6^{'''} до 30^{'''}. Самые распространенные для кухонных ламп 8^{'''} горелки, а для настольных ламп 14^{'''}. Первые потребляют керосина 25g/h при 8 НК_h, последние 40 g/h при 14 НК_h. При употреблении русского или румынского керосина следует применять ламповые стекла меньшего диаметра, во избежание копоти.

Лампы с калильным колпачком. Керосин в этих лампах сначала превращается в пар, который смешивается с воздухом в отношении 1:25 до 1:30 и сжигается бесцветным пламенем.

По способу питания различают: фитильные лампы (Keros, Euceros), как настольные для обыкновенных горелок с выходящим из фитиля пламенем. Требуется предварительное нагревание слабым пламенем фитиля в продолжении 1 минуты. Эти лампы имеют наклонность к образованию копоти. Потребление горючего 40 g/h при 70 НК_h.

Бесфитильные лампы (Petromax, Keros, Hirschhorn) употребляемые как обыкновенные, так и инвертные, для всех целей. Горючее подводится по тонким трубочкам из вышележащего резервуара самотеком (большие размеры лампы) или помощью давления воздуха или углекислого газа. Давление в резервуаре до 2-х атмосфер. Испарение керосина происходит в особом испарителе, который подогревается спиртовым пламенем перед зажиганием, а во время горения лампы подогревание происходит от пламени самой лампы. Эти лампы потребляют керосина от 150 до 1000 g/h и дают от 300 до 2000 НК_h. Перебой в работе бывает

благодаря засорению просветов; лампы большой мощности во время работы димят и потому пригодны лишь для наружного и промышленного внутреннего освещения].

б) Спиртовые лампы.

Горючее: спирт для горения (денатурированный) 96°; высшая теплотворная способность 6900, низшая — 6200 kcal/kg, плотность — 0,81 kg/dm³, точка кипения 78°.

Употребляется в обыкновенных и инвертных горелках с фитилем или без фитиля, но всегда с калильным колпачком.

Обыкновенные фитильные лампы потребляют спирта от 60 до 160 g/h и дают от 20—50 НК_h. Фитильные инвертные лампы потребляют 40 g/h и дают 40 НК_h. Бесфитильные лампы с обыкновенной горелкой потребляют от 200 до 400 g/h и дают 300—500 НК_h; лампы с инвертными горелками потребляют от 150 до 200 g/h. Спиртовые лампы не кипят.

в) Бензольные лампы.

Горючее: очищенный 90-градусный продажный бензол; высшая теплотворная способность — 10 000 kcal/kg, низшая — 9600 kcal/kg; плотность — 0,88 kg/dm³, точка кипения между 80—100°. Так как бензол замерзает уже при -3° С, то его можно употреблять только летом; существует зимний бензол, представляющий смесь бензола и толуола.

Бензольные лампы употребляются только как калильные лампы без фитиля и только с обыкновенными горелками. Переносимые настольные лампы могут снабжаться бензолом из сосуда с пористым, пропитанным бензолом веществом. Потребление бензола 45 g/h; сила света 56 НК_h. Лампы на большую силу света строятся и с инвертными горелками, у которых бензол вводится через тонкие металлические трубки под давлением в 2 атмосферы. Перебой в работе значительно реже, чем при керосине, так как горючее немного одороднее и чище].

г) Бензиновые лампы.

Горючее: так называемый светильный бензин; высшая теплотворная способность 11 200, наименьшая — 10 500 kcal/kg, плотность — 0,7 kg/dm³, точка кипения от 60 до 100°.

В лампах со светящимся пламенем горючее подводится или при помощи фитиля, или самотеком. Сила света фитильных ламп от 1 до 1,5 НК. Лампы с подачей бензина самотеком снабжены разрезной горелкой; сила света до 20 НК; употребляются для временных работ наружу.

Лампы с калильным колпачком применяются только без фитилей. Все данные те же, что и для керосиновых бесфитильных ламп].

¹⁾ О жидких горючих см. том I, стр. 1007 и сл.

Таблица 7. Удельное потребление ламп с жидким горючим.

	Теплотворная способность		На 1 НК _h /h			На 1 НК _g /h		
	пыльная	чистая	g	kcal	W	g	kcal	W
Керосин	11 000	10 300						
Светящаяся пламя			3	31	36	3,4	35	41
Керосинокальман с фитилем			0,7	7,3	8,4	0,9	9,3	10,9
Керосинокальманная без фитиля			0,5	5,1	5,9	0,6	6,2	7,2
Инвертная без фитиля			0,4	4,1	4,8	0,5	5,1	5,9
Спирт	6 900	6 200						
Спиртокальманная с фитилем			2	12,4	14,4	3	18,6	21,6
Инвертная с фитилем			1	6,3	7,2	1,5	9,3	10,8
Спиртокальманная без фитиля			0,7	4,3	5	1	6,2	7,2

В. Лампы для газообразных горючих¹⁾.

а) Лампы для светящегося газа.

Светящийся газ, доставляемый общественными газовыми заводами, представляет собой или чистый каменноугольный газ, или смесь последнего с водяным газом. В некоторых случаях имеются примеси генераторного или дымового газов. Теплотворная способность немецких светящихся газов колеблется между 4000—5000 kcal/m³ (0° и 760 мм ртутного столба). По нормам Германского союза наименьшая теплотворная способность должна быть 4200, а наибольшая — 3800 kcal с колебаниями вниз и вверх на 100 kcal. Все нижеприведенные данные относятся к так называемому «нормальному газу»²⁾. Плотность светящегося газа зависит от применяемых к каменноугольному газу других газов. Если таковой примесью служит водяной газ, тогда плотность составляет (при воздухе = 1) 0,46—0,48; при генераторном или дымовом газе 0,54—0,58. Давление газа в газопроводах составляет обычно от 30 до 50 мм водяного столба. При повышении уровня на 1 м давление повышается вследствие подъема от 0,7 до 0,8 мм водяного столба.

[Светящаяся пламя получается при употреблении разрезных горелок или горелок с круглыми отверстиями. Разрезная горелка потребляет в час от 150 до 200 l газа. Современный газ при 4200 kcal/m³ не дает без примеси достаточно светящегося пламени. Его перед тем следует обогатить бензолом (90-градусный продажный бензол). На каждый m³ нужно считать от 50 до 70 g бензола. Сила света приблизительно

¹⁾ О газообразном горючем см. том I, стр. 573.

²⁾ Journal f. Gas. u. Wasservers. 1921. S. 424.

15 НК_h. Такие горелки употребляются в тех помещениях, в которых продолжительность службы каменных колпачков, благодаря пыльному и влажному воздуху или благодаря сильным сотрясениям, не велика (кухни, пекарни, литейные и т. д.).

Газокальманные лампы низкого давления¹⁾. Для постоянной правильной эксплуатации этих ламп нужно иметь для газа постоянными: теплотворную способность, плотность и давление, т. е. они не должны колебаться. Инвертные горелки более чувствительны к этим колебаниям, чем обыкновенные. Величина каменного колпачка зависит от теплотворной способности газа; чем ниже теплотворная способность газа, тем меньших размеров берется колпачок.

Таблица 8. Распространенные на рынке газокальманные горелки.

Наименование	Потребление газа	Длина светящегося тела	Сила света	
			л/ч	мм
Обыкновенные горелки:				
Карлик (Pintsch, Rolfo)	30	30	14	10
Височическая (Gobe, Olse)	60—120	50—65	35—70	25—50
Л-горелка (Luwel)	70	60	40	30
Сгорелка (Aushbrenner)	130	70	75	55
Инвертные горелки	30	20	20	15
	60	25	40	35
	110	35	75	65
	220	45	150	130
	330	55	220	190

Длиной каменного колпачка в обыкновенных горелках считается высота колпачка от головки до поддерживающих его штифтов, но фактическая длина колпачка, по крайней мере, на 10 мм больше; у инвертных горелок фактическая длина считается от места прикрепления до конца колпачка. Каменным телом для обыкновенных и инвертных горелок служит обожженный и покрытый коллодом колпачок, сделанный в виде сетки из рами. Для С-горелок и для инвертных горелок также применяются мягкие колпачки из искусственного мела, обжигаемые уже на месте использования].

Для достижения большей силы света соединяют в одну лампу при применении обыкновенных горелок — две, при инвертных горелках — от двух до двадцати отдельных горелок, устанавливая их независимо одну от другой (вечернее и ночное освещение).

Для зажигания нарасстоянии и употребляются пневматически действующие лампы с пламенем, электрические искровые лампы, или электрически накаливающиеся лампы. Уличные фонари зажигают или при помощи пламени лампы, или от руки. При зажигании на рас-

¹⁾ A. Brenz, Hängendes Gaslicht, München 1907; Berteismann, Leuchtgasin-Austria II, Stuttgart, 1911, s. 63.

стоянии применяют только пламя запала и регулируют величину пламени: помощью часового механизма (зажигательные часы), сжатим воздухом (очень редко), чаще же всего изменением давления в сети. Пламя запала потребляет от 10 до 15 литров газа в час¹⁾.

Газовые фонари высокого давления²⁾ употребляются только с инвертными горелками; давление газа от 1200 до 2000 мм водяного столба. При сжатом воздухе газ подается под обычным давлением, а часть воздуха — под давлением в 2000 мм водяного столба по особым трубопроводам. При так называемом Selaslicht смешивают газ и воздух в отношении 1:1 и 1:2 и сжимают до 800—2000 мм водяного столба.

Для скатия газа или воздуха употребляются центробежные вентиляторы Millenium-, Pharos-, Pitsch-Selas-Pressgasapparate и т. д. Для мелких установок употребляются также и водяные двигатели. Мощность и прочее при разности давлений в 1000 мм водяного столба для центробежных вентиляторов дается в таблице 9.

Таблица 9.

Часовая производительность всасывания в м ³ . . .	5	10	20	40	65	100
Потребная мощность мотора в kW	0,2	0,3	0,5	1,0	1,4	1,8
Число оборотов в минуту	750	570	550	550	520	490

Калильные колпачки делаются из искусственного шелка и обжигаются на месте употребления. Сила света при употреблении нескольких горелок достигает 5000 НК. Уличные лампы зажигаются лишь помощью пламени запала. Запорный механизм обдувается самим рабочим давлением. Расход газа на пламя запала от 10 до 15 л в час.

Таблица 10. Употребительные газовые горелки высокого давления.

Потребление газа, пересчитанное на давление в 40 мм л/ч	Длина капиллярного колпачка	Сила света	
		НК _н	НК _г
75	30	100	60
170	50	260	210
340	60—65	570	460
600	70—75	1500	1200

760 мм ртутного столба) 10 000—12 000 kcal, а в низинах — от 9000 до 11000 kg·cal; уд. вес его (при воздухе = 1) от 0,6 до 0,9. Он сжимается до 10—15 ат, но в трубопроводах давление падает до

¹⁾ Dohert, Meyer, Göttram, Jour. f. Gasbel. u. Wasserver. 1903, с. 1209; 1909, с. 341; 1910, с. 490.

²⁾ Ahrens, Hängendes Gasglühlicht, München 1907; Berteismann, Leuchtgasindustrie II, Stuttgart, 1911, стр. 172.

150—300 мм водяного столба. Горелки со светящимся пламенем (разрезные горелки) потребляют от 35 до 150 л/ч и дают 14—70 НК_н. Потребление инвертных горелок составляет приблизительно 40 л/ч при силе света 80 НК_н.

Особо тепловорные сорта масляного газа, служащие тем же осветительным целям, получаются при частичном сжижении масляного, генераторного или коксового газов. В продажу они поступают в виде сжиженного газа, синего газа или газового масла в стальных баллонах под давлением в 100 атмосфер.

с) Ацетиленовые лампы.

Они употребляются для экипажей, морских сигналов, для вспомогательного или временного освещения. Ацетилен или получается на месте потребления помощью разложения карбида кальция водой, или берется в готовом виде из стальных баллонов; последние содержат его растворенным в ацетоне под давлением 12 ат (Dissougas, Auto-gas, ср. том I, стр. 957).

С медью ацетилен дает сильно взрывчатую смесь.

Светящееся пламя получается при помощи разрезных и с отверстиями горелок. Обыкновенные горелки имеют следующие данные: 10 литров газа в час дают 10 НК_н; 30 л дают 32—42 НК_н; 50 л дают 75 НК_н; 1 НК_н = 0,7 НК_г. Горелки для автомобилей нормально потребляют 20 л/ч и дают 30 НК_н, при 25 л/ч — 35 НК_н.

Газокалильные горелки изготовляются обычно в инвертные по силе света от 70 до 100 НК_н, потребление их от 15 до 20 л/ч газа; сила света у обыкновенных горелок от 70 до 90 НК_н, у инвертных при потреблении 15 л/ч — 75 НК_н.

Особую разновидность представляют горелки Daléplucht; они особенно пригодны для запасного и вспомогательного освещения, а также и для отдельно стоящих домов и фабрик. Эти горелки питаются смесью ацетилена с воздухом, не могут „проскочить“ и не дают копоти. Световая отдача их та же, что была выше указана.

В железнодорожном освещении применяются следующие горелки:

Расход ацетилена	3	6	8	10	15 л/ч
Сила света	15	30	45	65	100 НК.

д) Лампы для воздушного газа.

Лампы эти употребляются только для капиллярного освещения, для обыкновенных и инвертных горелок. Их конструкции и уход за ними те же, что и для ламп светильного газа. Воздушный газ получается путем карбюрации воздуха и легкого бензина, плотностью 0,66—0,68 kg·dm³ (Solin, Benoidhexan и пр.), имеет самую высокую тепловорную способность 3300 и наименьшую 3100 kcal/m³; он тяжелее воздуха. Кубический метр газа содержит 300 g бензина. Обыкновенные горелки изготовляются для сил света от 30 до 500 НК и потребляют на 1 свечу Гейфнера от 1,7 до 2,1 литра газа в час. Инвертные горелки изготовляются размером от 50 до 120 НК и потребляют на свечу Гейфнера 1,3 л/ч газа.

Таблица 11. Удельное потребление ламп с газообразным горючим.

Род газа	Теплотворная способность		На 1 МК _h /h			На 1 НК ₀ /h		
	вышья	низья	l	kcal	W	l	kcal	W
Светильный газ	4 200	3 500						
Обыкновенная горелка . . .			1,7—2,1	6,5—8	7,6—9,3	2,1—3	9,1—11,4	10,5—13,3
Инертная горелка . . .			1,5	5,7	6,6	2	7,6	8,8
Инертная горелка высок. ламп. . . .			0,5—0,7	1,9—3,7	2,2—3,1	0,7—0,9	2,7—3,4	3,1—4
Масляный газ	11 000	10 000						
Светящиеся лампы			2,1—2,5	21—25	25,4—29	3—3,6	30—36	35—42
Инертная кальциевая горелка			0,5	5	5,8	0,6	6	7
Ацетилен	14 000	13 500						
Светящиеся лампы			0,6—1	8,1—13,5	9,4—15,7	0,8—1,4	12—19	14—22
Обыкновенная газовая горелка			0,22	3	3,5	0,28	3,8	4,4
Инертная кальциевая горелка			0,2	2,7	3,1	0,25	3,4	4
Dalflucht инертная кальциевая горелка			0,15—0,2	2,2—2,7	2,6—3,1	0,2—0,25	2,6—3,4	3—4
Воздушный газ	3 300	3 100						
Обыкновенная горелка			1,7—2,1	5,3—6,5	6,2—7,6	2,3—2,8	7,1—8,7	8,3—10,1
Инертная горелка			1,3	4	4,7	1,7	5,3	6,2

Е. Электрические лампы.

Основным преимуществом электрических ламп является удобное включение и выключение их. Лампы, присоединяемые для внутреннего освещения, не поглощают кислорода из окружающего воздуха, не выделяют загрязняющих воздух и окраску помещений продуктов сгорания и выделяют незначительное количество тепла (стр. 1170, табл. 15). Электрические лампы можно разделить на две группы по способу, которым они преобразуют электрическую энергию в световую, а именно: на лампы с рас-

каленным твердым телом (джаулево тепло) и на лампы, в которых преобразование энергии происходит в форме газового разряда.

а) Электрические лампы накаливания.

Во всех электрических лампах накаливания некоторое твердое тело накаливается джаулевым теплом. Применением целесообразных средств (эвакуирование воздуха в угольных и металлических лампах, доступ воздуха в лампе Нерста, наполнение инертным газом газонаполненных ламп) предусмотрено, чтобы тело накаливания не подвергалось изменению. Все лампы накаливания могут работать как на переменном, так и на постоянном токе и изготавливаются обыкновенно для параллельного включения. Для последовательного включения можно употреблять лампы только на одинаковую силу тока.

[Для присоединения к сети лампы накаливания снабжены цоколями, из которых наиболее распространены цоколи „Эдисон“ и „Гольаф“ с винтовой нарезкой, и цоколь „Сван“ без винтовой нарезки. При употреблении цоколя Эдисона для предупреждения отвинчивания лампы при сотрясениях применяют цоколи с рифленой нарезкой. Цоколь Свана дает возможность особенно быстро менять лампы. В Германии и СССР употребляются главным образом цоколи Эдисона.]

1. Угольные лампы. представляющие собой стеклянный баллон с высоким вакуумом и с заключенными в нем одной или несколькими угольными нитями, в настоящее время, благодаря их большому удельному потреблению (от 3-х до 4 W/НК_h), изготавливаются в небольших количествах. Окраска света вследствие их относительно низкой температуры (около 1850° С при удельном расходе 3,5 W/НК_h) красноватая. Полезный срок службы угольных ламп колеблется от 400 до 800 часов].

2. Вакуумные лампы с вольфрамовой нитью. В лампах с вольфрамовой нитью накаливается вольфрамовая проволока соответствующих размеров, zigzagобразно натянута между двумя винтиками из крючков. Нить защищена от сгорания тем, что из колбы эвакуирован воздух.

[Нормальные лампы изготавливаются для наиболее употребительных напряжений до 260 вольт, на силу света в 5, 10, 16, 25, 32 и 50 НК и имеют, в зависимости от силы света и напряжения, для которого они построены, удельный расход от 1,3 W/НК для ламп с тонкими нитями, до 0,9 ватт/НК для ламп с толстыми нитями¹⁾. Только что сказанное относится также и к специальным сортам ламп, находящимся в продаже, как-то: лампы в виде свечей, софитных, алюминационных, автомобильных, для карманных и рудничных фонарей и т. п.]

Кривая распределения света представлена на рис. 1618а; она типична для всех ламп, которые являются практическим выполнением идеального светящегося цилиндра $[I_0 = I_h \cdot (\pi \cdot 4) \approx 0,79 I_h]$.

При матировании ламп происходит изменение кривой распределения света, которое зависит от рода матирования и от формы баллона. При полной матировке теряется 5—6% при половинной 2—3% светового потока от нематированной лампы.

¹⁾ В настоящее время в СССР пустотные лампы изготавливаются не на силу света, а на мощность (15, 25, 30, 50 ватт).

Влияние изменения напряжения на металлические лампы. Сопротивление металлической лампы увеличивается с повышением напряжения (с температурой), так что колебания напряжения компенсируются отчасти положительным температурным коэффициентом омического сопротивления. При повышении напряжения на 1%, ток возрастает на 0,5%, а сила света — на 3,6%. По этим данным можно вычислить приблизительное изменение силы света, силы тока и удельного потребления лампы при изменении напряжения. Продолжительность горения лампы зависит от напряжения, при котором она горит, т. е. температура нити возрастает с возрастанием напряжения, а продолжительность горения уменьшается. Для приближенных подсчетов может служить следующая формула:

$$L_1 : L_2 = [(W/HK)_1 : (W/HK)_2]^b$$

где L_1 и L_2 — продолжительности горения лампы при удельных потреблениях $(W/HK)_1$ и $(W/HK)_2$, а b — показатель степени, который для вольфрамовых ламп с большим приближением можно принять равным 7. Продолжительность горения находящихся в продаже ламп около 1000 часов; то же самое относится к полезной продолжительности.

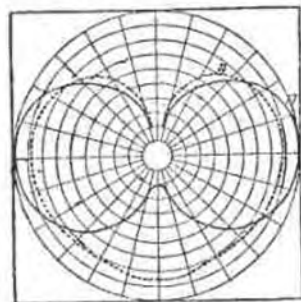
При включении лампы возникающей в первый момент ток значительно превосходит по величине нормальный ток, т. е. сопротивление лампы в холодном состоянии равно приблизительно $1/12$ сопротивления ее в горячем состоянии. В установках с большим числом мощных ламп с толстыми нитями нужно ставить соответствующие предохранители, т. е. явление включения протекать дольше, чем в лампах с тонкими нитями. В зависимости от толщины нити явление включения продолжается от 0,1 до 0,5 секунды.

Колебание света при низких частотах переменного тока зависит от толщины нити. Т. е. тонкие нити, благодаря их незначительной теплоемкости, остывают быстрее, чем толстые, то периодическое изменение света наблюдается резко. При заданном числе периодов можно всегда указать минимальную толщину нити, при которой периодическое изменение яркости не вызывает неприятного ощущения в глазу. Окраска света значительно белее, чем у угольных ламп; при 1,1 W/HK_h температура около 2100° С и при 0,5 W/HK_h температура около 2200° С].

Металлическая вакуумная лампа с вольфрамовым спитом в спираль светящимся телом отличается от металлической лампы с петлеобразной нитью тем, что нить этой лампы свита в спираль и более сконцентрирована. Этому соответствует и другая кривая распределения света (пунктирная кривая фиг. 1625; кроме того, благодаря компактности нити, размеры баллона могут быть уменьшены).

Лампы такого сорта изготавливаются в 15, 25 и 40 ватт, частью со световой отдачей практически равной отдаче вакуумных ламп (Osram-N-Lampe), частью специальной конструкции с меньшей световой отдачей, мало чувствительные к сотрясению, применяются при грубых работах (Osram-Centralampe и Radiallampe). Окраска света их схожа с окраской света обыкновенных металлических ламп. Полезное число часов горения и продолжительность горения вакуумных спиральных ламп не ниже 1000 часов].

3. Вольфрамовые лампы с газовым наполнением. Повышение температуры вольфрамовой спирали в лампе ведет к уменьшению продолжительности горения лампы вследствие распыления вольфрама. Для избежания этого явления наполняют баллон лампы газом (азотом или смесью азота с азотом до $2/3$ атмосферы), что уменьшает распыление вольфрамовой спирали и тем достигается увеличение продолжительности горения. Тепло-вые потери, возникающие вследствие теплопроводности и конвекции в газе, компенсируются увеличением световой отдачи при более высокой температуре нити лампы. Спирально навитая нить значительно уменьшает тепловые потери, в данном случае является существенным конструктивным элементом лампы, т. е. газонаполненная лампа с прямой нитью, расположенной зигзагообразно, несомненно на более высокую температуру, являлась бы менее экономичной, чем соответствующая по силе света пустотная вольфрамовая лампа.



Фиг. 1625.

Лампы с газовым наполнением изготавливаются для наиболее употребительных напряжений, следующих мощностей: 25, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500 и 2000 ватт и вытеснили, отчасти, вакуумные лампы на большую силу света, а также дуговые фонари. Газонаполненные лампы могут выполняться для различных специальных целей, как, например, автомобильные, проекционные и кино-лампы. Световая отдача газонаполненных ламп зависит от толщины нити и от диаметра спирали, аля от диаметра цилиндра, описанного вокруг спирали. Данные ламп „Osram-Nitra“ для напряжений 110—220 вольт приведены в таблице 12.

Таблица 12. Мощность ламп в ваттах.

Напряжение		25	40	60	75	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2000
		110 В	$\left\{ \begin{array}{l} HK_0 \\ W/HK_0 \\ Lm \\ Lm/W \end{array} \right.$	18 1,39 2,6 0,0	35 1,14 44 11,0	60 1,0 75 12,5	77 0,97 970 12,9	110 0,91 1340 13,8	185 0,81 2320 15,5	260 0,77 3260 16,3	415 0,72 5210 17,4	735 0,68 9340 18,4	1155 0,65 14700 19,8	1590 0,63 20000 20,0
220 В	$\left\{ \begin{array}{l} HK_0 \\ W/HK_0 \\ Lm \\ Lm/W \end{array} \right.$	—	27 1,48 340 8,8	47 1,28 590 9,8	64 1,17 805 10,7	95 1,05 1190 11,9	160 0,94 2010 13,4	225 0,89 2840 14,2	385 0,87 4590 15,3	665 0,75 8750 16,7	1055 0,71 13250 17,7	1470 0,69 18400 18,2	2310 0,65 29000 19,3	3175 0,63 39000 20,0

Обе наиболее характерные для данного вида ламп кривые распределения света указаны на фиг. 1626; одна из них (а) относится к лампам с кольцевым расположением спирали, что является нормальным для ламп до 500 ватт включительно; другая (б) относится к таким лампам, в которых спираль подвешена зигзагообразно, как бы по поверхности вы-

ного цилиндра. Для зависимости между силой тока и силой света, а также продолжительностью службы лампы от напряжения, можно принять те же соотношения, что и для вакуумных ламп. Сказанное выше относительно колебания силы света при включении относится также и к газонаполненным лампам.

Окраска света газонаполненных ламп, в связи с более высокой температурой их нити (приблизительно 2500° и для мощных ламп до 2700°C) значительно более белая, чем у вакуумных. Приближение к дневному свету может быть еще усилено, если изотоплять баллоны лампы из подходящего стекла, или помещая лампы в соответствующие колпаки. Продолжительность службы колеблется от 800 до 1000 часов.

б) Лампы с газовым разрядом.

Существуют электрические лампы, свечение коих основано на разряде в газах или в форме дугового разряда, или в форме тлеющего разряда. Падение напряжения может происходить на аноде, а также на всем протяжении газового пространства

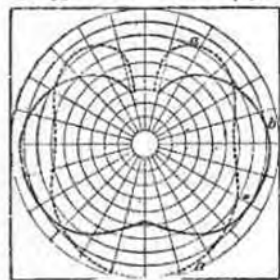
использовано для преобразования электрической энергии в световую.

1) Лампы с газовым разрядом, основанные на использовании падения напряжения на аноде.

Дуговые лампы с чистыми или пламенными углями. Дуговые фонари с угольными электродами, пившие раньше большое значение, различались, смотря по выполнению, как открытые или закрытые, с рядом стоящими или друг над другом расположенными чистыми и пламенными углями, для постоянного и переменного тока. Все они в настоящее время почти совершенно вытеснены лампами с газовым наполнением. Теперь изготавливаются только закрытые пламенные дуги с углями, расположенными друг над другом (Dialampe, Körting und Mathiesen A. G.).

В лампах этого типа зажигание происходит при соприкосновении углей друг с другом и затем, как и в обыкновенных дуговых лампах, угли раздвигаются и держатся на постоянном расстоянии друг от друга. Для предохранения от чрезмерно большой силы тока при включении и для выравнивания колебаний напряжения во время горения последовательно с дугой включается сопротивление. В установках переменного тока вместо омического сопротивления применяются дроссельные катушки, т. е. они при таком же действии потребляют меньше энергии; эти лампы снабжены однородными углями. При постоянном токе положительный электрод берется более толстым, чтобы противодействовать его быстрому стиранию, вызываемому более высоким нагреванием. При переменном токе оба электрода берутся одинаковых размеров.

Рабочее напряжение на пламенных дугах продолжительного горения составляет от 40 до 42 вольт, так что при 110 вольтах можно включить два фонаря последовательно, при 220 вольтах — четыре. При переменном токе можно работать и с более высоким напряжением (до 60 вольт), так



Фиг. 1626.

что при 120 вольтах можно включать фонари параллельно; при 180 вольтах можно включить два фонаря, а при 220 вольтах — три фонаря последовательно. Кривая распределения света этих ламп приведена на фиг. 1627, из которой видно, что 95% светового потока излучается в нижнюю полушару. Лампы изготавливаются для сил тока от 8 до 15 ампер, на силу света от 900 до 3300 НК. Удельное потребление энергии при постоянном токе равно 0,2 W/НК (33,1 Lm/W), при переменном токе оно равно приблизительно 0,25 W/НК (26,8 Lm/W), в последние цифры включены потери энергии в добавочном сопротивлении (или в дроссельной катушке). Продолжительность горения одной пары углей составляет около 125 часов.

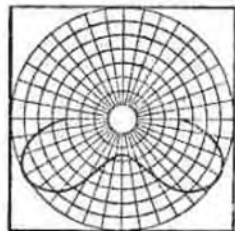
Магнетитовые дуговые фонари (годны только для постоянного тока) состоят из нижнего отрицательного электрода, представляющего собой тонкостенную железную трубку, наполненную солями оксидов металлов (главным образом магнетита и валикой для световой отдачи окиси титана), и положительного электрода, выполненного в виде массивного медного стержня. Наружний воздух имеет свободный доступ к дуге и отводит продукты сгорания. Свет — блестяще белый, приближающийся по своему цвету к солнечному. Магнетитовые дуговые лампы почти исключительно употребляются в Америке, главным образом для последовательного включения, с саморегулирующимися на постоянную силу тока трансформаторами.

Вольфрамовая дуговая лампа имеет два или несколько электродов, сделанных из вольфрама, помещенных в закрытый стеклянный баллон. Образуемая между электродами дуга приводит их в раскаленное состояние, в то время как сама дуга почти не участвует в излучении. Баллоны наполнены дифференциальным газом, так что электроды не стираются и нет необходимости в регулирующем механизме. Вольфрамовые дуговые лампы изготавливаются для постоянного и переменного тока. При постоянном токе при равных размерах электродов анод раскаляется сильнее, чем катод.

Зажигание происходит при помощи конизации газового промежутка (температурная конизация или разряд высокого напряжения), или путем соприкосновения (соприкосновение непосредственное, или при помощи соприкосновения тела), или, наконец, при помощи тихого разряда.

На мировом рынке можно получить лампы различных конструкций и способов зажигания. Вообще этот род ламп находится еще в стадии развития. В Германии изготавливаются лампы на постоянный и переменный ток (Osram G. m. b. H.).

Лампы для постоянного тока изготавливаются на 1,3 и на 4 ампера, их можно включать на 110 вольт и выше с соответствующим добавочным сопротивлением. В обоих сортах лампы в качестве практической не участвует в световой отдаче. Анод дает приблизительно от 80 до 400 свечей (диаметр анода 2,5 мм или 5,2 мм). Лампы наполнены азотом



Фиг. 1627.

при низком давлении и зажигаются по способу соприкосновения. Лампы для переменного тока изготавливаются на 1,3 ампера и 2,5 ампера, дают приблизительно 40 и 100 НК (диаметр электродов 1,0 и 1,9 мм). Оба электрода светятся одинаково сильно. Лампы наполнены неонов с небольшой примесью гелия под давлением в 0,5 ат и зажигаются тлеющим разрядом благодаря небольшой диэлектрической прочности неона; для зажигания таких ламп требуется напряжение не ниже 220 вольт (другие фирмы изготавливают такие же лампы на напряжение 110—120 вольт).

Окраска при соответствующей одинаковой температуре та же, что и в газо-наполненных лампах. Яркость анода в вольфрамовом дуге составляет 15 НК/мм². Эти лампы применяются там, где необходим, по возможности, точечный источник света большой и равномерной яркости с постоянным местоположением (проекторные аппараты, макроскопы и проч.); для общего освещения они почти не применимы¹⁾.

Продолжительность горения для ламп постоянного тока приблизительно 400 часов, а для ламп переменного тока приблизительно 200 часов.

2. Лампы с разрядом в газе, основанные на использовании падения напряжения в анодном пространстве.

Лампы с тлеющим разрядом. Тлеющие лампы, основанные на световом явлении в анодном пространстве, наполняются частью благородными газами (азот и углекислый газ), частью благородными газами (неон). В первом случае необходим вентиль для наполнения трубки газом, так как благородные газы с течением времени связываются химически или физически с металлами электродов (свет Мура). Во втором случае, т.-е. в лампах, наполненных благородным газом, этих явлений не происходит, а поэтому нет необходимости в приспособлении для добавления газа. Давление внутри лампы при всех трех названных сортах газов порядка 1 мм. Лампы могут работать только переменным током высокого напряжения и зажигаются при непосредственном включении на рабочее напряжение. К колебаниям напряжения они мало чувствительны.

Свет Мура производится трубками диам. 40 мм, наполняемыми азотом или углекислотой, которым на месте установки придается требуемая форма. Длина трубок при наполнении азотом колеблется между 20—75 м, при наполнении углекислотой—между 20—60 м; максимальное рабочее напряжение 25 000 вольт. Трубки работают после зажигания с 60% номинального напряжения. Добавочным сопротивлением служат дроссельные катушки.

Окраска света трубок наполненных азотом красно-желтая. Удельный расход от 1,0 до 1,5 W/НК. Трубки наполненные углекислотой дают почти чистый белый свет, настолько подходящий к дневному, что в большинстве случаев употребляются для точного сравнения красок (красильни, красочные заводы, торговые помещения). Для этого существуют переносные установки на 5 000 вольт рабочего напряжения. Удельный расход от 3 до 4 W : НК.

Трубки, наполненные неонов (без вентиля), могут употребляться вследствие их кроваво-красного света исключительно для эффектного

и рекламное освещение. Благодаря большой проводимости неона рабочее напряжение значительно ниже (600—800 вольт), чем у трубок, наполненных азотом и углекислотой. Разновидностями этих разрядных трубок являются неоновые трубки, имеющие внутри капли ртути, дающие непосредственно после включения синий свет. Они употребляются также только для рекламных целей и имеют удельный расход 1 W/НК.

Продолжительность службы всех указанных сортов трубок более 1000 часов.

Лампы с дуговым разрядом. В ртутных лампах используется люминесценция анодного свечения ртутных паров дуги; электроды в световой отдаче не участвуют. В первоначальной форме лампы были только для постоянного тока. Для переменного тока нужно включать выпрямитель тока, обычно ртутный, который может также находиться и внутри самой лампы.

Ртутные лампы изготовленные из стекла, или, иначе, „ртутные лампы низкого давления“, для общего освещения не годятся вследствие их синие-зеленого света и применяются, благодаря сильному излучению синих и ультрафиолетовых лучей, для фотографических и химических целей. Пригодность таких ламп для указанных целей значительно усилена вследствие изготовления их из специального стекла, пропускающего значительно больше ультрафиолетовых лучей (Uviol-Glas, Schott & Gea., Jena).

В ртутных лампах высокого давления (кварцевые ртутные лампы) стеклянный сосуд заменен сосудом из кварца, благодаря которому можно поднять рабочее давление внутри лампы и тем самым значительно уменьшить размеры ее по сравнению с лампой низкого давления. В лампах высокого давления оба электрода представляют собой сосуды со ртутью, расположенные на концах лампы перпендикулярно к ее горизонтальной оси; эти сосуды охлаждаются особыми металлическими радиаторами. Зажигание производится автоматически путем накала лампы (зажигание соприкосновением).

Окраска света ламп синие-зеленая и для общего освещения пригодна лишь в исключительных случаях. При употреблении этих ламп для общего освещения вследствие значительного ультрафиолетового излучения приходится защищать лампу стеклянным колпаком, чтобы избежать вредного действия на человеческий организм (глаза, кожа и прочее). Такие лампы применяются главным образом для терапевтических и бактериологических целей (лечение светом и стерилизация питьевой воды).

Лампы изготавливаются для сил тока от 1,5—3,5 ампер для непосредственного включения в сеть с напряжением в 110 и 220 вольт. Сила света составляет 500—3000 НК_☉ при удельном потреблении энергии от 0,4 до 0,25 W/НК_☉; средняя продолжительность службы около 2000 часов.

В неоновой дуговой лампе электроды также не принимают участия в свечении. Лампы работают только на постоянном токе; анод лампы состоит из железа, или ему подобного материала, катод—из амальгамы щелочных металлов (патрициал амальгама, кадмиево-галлель и другие). Зажигание происходит при помощи аппарата, посылающего импульс высокого напряжения через трубку.

¹⁾ Skaup, Die Entwicklung der Wolfram-Bogenlampen „Licht und Lampe“ 1923, стр. 560.

Неоновые дуговые лампы изготавливаются для 220 вольт (Osram G. m. b. H.) и имеют трубку диаметром в 30 мм и длиной в 1 м. Успокоительное сопротивление потребляет приблизительно 80 ватт. Лампы дают от 300 до 400 свечей при удельном потреблении энергии, включая потерю в добавочном сопротивлении от 0,4—0,5 Вт/ШК. Лампы наполняются чистым неоном под давлением в 1 мм и имеют кроваво-красный свет, который ограничивает их применение лишь в рекламном и эффектно-освещении. Продолжительность горения ламп больше 1000 часов.

3. Лампы с разрядом в газе, основанные на использовании падения напряжения на катоде. В так называемых лампах с тлеющим разрядом для получения света использовано катодное свечение большого металлического катода, в то время как анодное свечение и соответствующее ему падение напряжения устранены помещением анода на весьма близком расстоянии от катода. Оба электрода тлеющей лампы изготавливаются из жести, или из железной проволоки, и помещаются в стеклянный баллон для обыкновенной лампы накалывания. Баллон наполнен смесью неона и гелия под давлением (приблизительно) 10 мм, что дает возможность применять низкие потенциалы для зажигания и работы лампы.



Фиг. 1628.

[Наиболее распространенным типом этих ламп в Германии является лампа, изображенная на фиг. 1628, с помещенным в цоколе ее успокоительным сопротивлением. Лампы изготавливаются для напряжений 110—220 вольт. Потребление энергии незначительное (от 2—4 ватт); окраска света—красновато-желтая; употребляются только, как сигнальные лампы. Средняя продолжительность горения около 1000 часов].

Ф. Рефлекторы и арматуры.

а) Общие сведения о цолях и способах выполнения арматур.

Почти все источники света должны употребляться в соединении с рациональными арматурами, чтобы защитить лампу от ветра, непогоды, загрязнения и от вредных тепловых влияний, глаза людей от ослепления и, смотря по местным условиям, перераспределять световой поток лампы.

Чтобы выполнить эти задачи вполне надежно, арматуры должны изготавливаться из достаточно толстой и хорошо эмалированной жести, или, в специальных случаях (при сырости, парах кислот и т. п.), из соответствующих материалов (фарфор, чугун). Патроны должны быть выбраны сообразно лампам, поскольку это касается арматуры для ламп различных мощностей, и легко доступны для перестановки. В арматурах для ламп больших мощностей, чтобы избежать чрезмерного нагревания лампы, необходимо установить достаточную вентиляцию самой арматуры. Дожде и снег не должны проливать к лампе. Колпаки для наружного употребления должны снабжаться небольшим отверстием для отвода воды, образовавшейся при их запотевании.

В тех случаях, когда нет сдвигающего действия вследствие небольшой силы света употребляемых ламп или значительной высоты подвеса их, можно применять прозрачные шары. Для защиты против сдвигающего действия, а также перераспределения светового потока служат опаловые

колпаки, которые, во избежание чрезмерных потерь света, не должны быть слишком густыми. Очень хорошее рассеивание света дают колпаки из молочного стекла, но они должны быть тонки, чтобы не поглощать очень много света. Алебастровые и матовые стекла рассеивают свет хуже. Матовые стекла, благодаря шероховатой поверхности, подвергаются скорому загрязнению. Потеря светового потока, отнесенная к общему световому потоку лампы, составляет при прозрачном стекле от 3 до 8%, при опаловом 10—20%, при матовом 5—15% и при молочном 30—50%.

д) Рефлекторы.

Рефлекторы выбираются таким образом, чтобы силу света лампы перераспределить, сообразно поставленным требованиям, с наибольшим коэффициентом полезного действия и, кроме того, защитить глаз от ослепления. Материалом для рефлекторов служат главным образом молочное стекло, эмалированный жести и зеркальные поверхности из стекла или металла. Первые два материала отражают 60—70% падающего на них света, в то время как металлические зеркала отражают 70—80%, а зеркала прозрачного стекла 75—90%. Рефлекторы из молочного стекла одновременно с отражением падающего на них светового потока часть последнего диффузно пропускают через себя. Рефлекторы молочного стекла с изокровным слоем из зеленого стекла применяются в тех случаях, когда рефлектор помещается на близком расстоянии от глаз. Внешняя форма рефлектора должна гарантировать достаточную защиту от ослепления. При луче зрения под углом в 30° голова лампы не должна быть видимой. Линия, соединяющая нижний край рефлектора со светящимся телом лампы (пограничная линия), должна составлять с вертикалью угол, меньший чем 60°.

[Очень широко распространение в Америке рефлекторы Голофан из пресованного стекла, в которых рассеивание света происходит при помощи большого числа стеклянных призм, мало распространены в других странах благодаря их высокой цене и трудности чистки. Для ламп с газовым наполнением эти рефлекторы также мало подходят из-за высокой яркости светящегося тела].

Для уличного освещения наиболее применимы рефлекторы эллипсоидальные и параболические. В этом случае рефлекторы должны широко разбрасывать световой поток, чтобы получить достаточную освещенность при больших расстояниях между лампами; поэтому важно иметь рефлекторы с хорошей отражательной способностью, чтобы гарантировать выгодное использование направленного вверх светового потока лампы. Часто употребляются диоптрические системы, которые аналогично рефлекторам Голофан перераспределяют световой поток при помощи комбинаций стеклянных призм.

е) Важнейшие классы арматур.

По роду требуемого распределения света можно различить 6 основных типов арматур. Их распределение света дано на рис. 1629—1634 и, кроме того, в таблице 13 даны их характеристики по роду распределения света, по их свойствам и области применения.

Таблица 13. Кривые распределения света и области применения различных арматур.

Способ излучения света	Слабо концентрированный	Средне концентрированный	Широко распространяющийся	Сильно широко распространяющийся	Полуограниченный	Ограниченный
Кривые распределения света						
Фиг.:	1630	1631	1632	1633	1634	
Свойства	Хорошее использование светового потока при очень большой высоте подвеса.	Хорошее распределение светового потока во всех частях помещения.	Повешен с очень небольшим числом ламп и незначительной высотой подвеса.	Почти полное отсутствие бликов, мягкое тень.	Освещение вполне свободное от бликов и от тени.	
Внутреннее освещение	Фабрики и строения с высокими залами, вышками, магазинами.	Доро, магазины, фабрики, большие витрины.	Улицы с большими расстояниями между лампами, при чем в огорожены участках также в стенах домов.	Улицы с очень большими расстояниями между лампами и большой высотой подвеса (скалочки, плашала).	Помещения с большими потоками транспортных средств, магазины, выставки.	
Внешнее освещение	Большие площади с лампами на высоких мачтах. Корпусы больших зданий.	Улицы и площади с средней высотой подвеса и небольшими расстояниями между лампами.				

о и з н о н = 4 П

III. Расчет осветительных установок

А. Общие соображения о выборе системы освещения.

Приходится принимать во внимание желаемую освещенность, ее распределение, мягкость и степень ослабления слепящего действия, окраску света источника, его качество и гигиеническое отношение, удобство и надежность в эксплуатации, пожарную безопасность, а также и экономичность установки.

а) Оценка освещения 1).

Для фотометрической оценки освещения служит освещенность на рабочих поверхностях. Если отсутствуют специальные указания о рабочей поверхности, то освещенность определяется на горизонтальной поверхности, находящейся на высоте 1 м от пола. Указание средней освещенности этих поверхностей в большинстве случаев бывает достаточно. Для более подробной характеристики освещения нужно, кроме того, указывать освещенность (максимальную и минимальную).

Равномерность освещения есть отношение минимальной освещенности к максимальной; это отношение—всегда правильная дробь. Тени и световые пятна принимаются во внимание лишь в том случае, если они происходят от лампы или арматуры.

Световой отдачей установки для освещения некоторой поверхности является отношение общего светового потока, падающего на данную поверхность, к общей затраченной мощности. Этот световой поток получается как произведение средней освещенности в люксах на площадь освещаемой поверхности в квадратных метрах.

Коэффициент полезного действия установки при освещении какой-либо поверхности есть отношение падающего на данную поверхность светового потока к световому потоку ламп без арматуры.

б) Окраска света

Окраска света зависит от относительного распределения светового излучения в отдельных областях спектра. Окраска дневного света обусловлена, главным образом, температурой солнца (около 6000°), благодаря чему в солнечном свете находится большое количество синих лучей. Для ряда источников света в таблице 14 (по измерениям Блоха 2) дано относительное распределение красного, зеленого и синего излучений. Наиболее близко к дневному свету подходит свет Мура, когда трубки наполнены углекислым газом; такой свет поэтому и наиболее применим для тонкого сравнения красок.

в) Источники света с гигиенической точки зрения.

Во всех осветительных установках нужно избегать слепящего действия для предотвращения порчи глаз и уменьшения возможности несчастных случаев. При употреблении источников света с большим содер-

1) Entwurf der Kommission für Bewertung und Messung der D. V. G. (ETZ, 1925, стр. 471).

2) Gas. u. Wasserfach, 1924, S. 211.

Таблица 14. Содержание красных, зеленых и синих лучей в различных источниках света.

Род света	На 1000 Лм общего светового потока приходится:		
	к ¹⁾	з ²⁾	с ³⁾
Дневной свет, закрытое облаками небо	333	333	333
" голубое небо	270	340	390
Солнечный свет через тонкие облака	375	325	300
Стеариновая свеча	775	170	55
Керосиновая лампа	745	165	70
Газокалильный свет низкого давления	500	295	145
" высокого	575	290	145
Угольная лампа накалявшаяся 3,5 W/ПК _h	695	210	95
Лампа накал. с метал. нитью 1,0 W/ПК _h	625	245	130
Нитро-лампа 0,65 W/ПК ₀	555	275	170
Дуговая лампа с чистыми угольн	485	300	215
" плавленая с б-м светом	435	315	220
" " с мед. нит	433	437	130
" " скр. нит	775	130	95
Ртут. лампа	65	705	230
Кварцевая ртутная лампа	135	665	200
Свет Мура с ультрафиолет. излучением	290	340	370
" с инфракрасн	850	130	20
" с инфракрасн	955	42	3

Обозначают: 1) к — красный, 2) з — зеленый, 3) с — синий свет.

Таблица 15. Продукты сгорания, выделяемое тепло и потребность воздуха для различных источников света¹⁾.

Род освещения	Свеч. свста ПК	Продукты сгорания в литрах на 1 свечу и час				Образование тепла в ка-лориях на 1 свечу и час	Потребность в воздухе на 1 свечу и час
		Углекислый газ	Водяной пар	Азот	Сумма		
Стеариновая свеча	1,2	13	13	73,5	99,5	60	93
Керосиновая лампа	30	9,4	9,4	53,2	72,0	40,7	67
Керосинокалильное освещение	500	2,0	2,0	11,3	15,3	8,7	14
Светокалильное освещение	60	0,75	1,13	4,9	6,8	5,7	6,2
Ацетилен	40	1,2	0,6	5,7	7,5	7,8	7,2
Ацетиленокалильное освещение	60	0,5	0,25	2,3	3,1	3,8	2,9
Газокалильное освещение	80	0,85	1,19	6,7	9,4	7,5	8,5
Нитроное калильное освещение	100	0,57	1,16	4,85	6,18	5,0	5,5
Газокалильное освещение под давлением	450	0,45	1,01	3,6	5,1	4,0	4,5
Лампы с угольн. нитью	32	—	—	—	—	2,7	—
" с метал. нит	32	—	—	—	—	0,9	—
Газовокалильные лампы	60	—	—	—	—	0,43	—
Дуговая лампа с электр. угольн	1900	0,01	—	0,02	0,03	0,2	0,03

[Человек и час выделяет от 20 до 50 литров углекислоты и от 20 до 230 г (= 24 до 280 л) водяных паров и потребляет в час 330 л воздуха.

¹⁾ Korff-Petersen in Bloch, Lichttechnik, München-Berlin 1921, R. Oldenbourg, nach Schauss Kalender für das Gas- u. Wasserfach 1921, S. 199.

жанием ультрафиолетовых лучей (ртутные и дуговые лампы) следует предохранять соответствующими средствами глаза и кожу от ожогов. Также следует позаботиться отводом продуктов сгорания и тепла, развиваемых источником света. В таблице 15 приведена сводка качеств отдельных источников света в гигиеническом отношении.

д) Экономичность.

Для характеристики экономичности освещения служит данное на стр. 1189 понятие световой отдачи установки при освещении некоторой поверхности; эта световая отдача и принимается как характеристика экономичности установки вместо обратной величины, т. е. расхода энергии на 1 люкс и на 1 м² средней освещенности пола (расхода на 1 люмен). Сравнение систем освещения на данной основе применимо лишь тогда, когда принимается во внимание только стоимость энергии. Для полного сражения нужно принять во внимание дополнительные расходы, вызванные приобретением установки, уходом за ней, заменой лампы и арматур, а также для разных систем освещения — обслуживание установки в целом. Следует также принимать во внимание капитализацию и амортизацию общей стоимости установки, со всеми необходимыми дополнительными приспособлениями.

В. Основные соображения о расчете осветительных установок.

а) Коэффициент полезного действия освещения¹⁾.

Коэффициент полезного действия установки при освещении некоторой поверхности по III A а) есть отношение полезного светового потока ко всему излученному в помещении световому потоку. Коэффициент полезного действия для внутренних помещений зависит в большой мере от свойств стен и потолка; он тем больше, чем светлее их общая окраска. Кроме того, коэффициент полезного действия зависит от системы освещения (прямое, полуотраженное или вполне отраженное освещение).

При внешнем освещении на коэффициент полезного действия оказывает влияние род освещения и размещение лампы; он имеет различное значение для арматур концентрированного света, арматур широко разбрасывающих свет и арматур для высокого подвеса, а также зависит от отношения ширины улицы к высоте подвеса арматуры. Приблизительные величины коэффициента полезного действия даны Блохом²⁾ в таблицах 16—18.

Таблица 16. Коэффициент полезного действия для прямого и полуотраженного освещения во внутренних помещениях.

	Состояние потолка		
	светлый	средний	темный
Состояние стен	светлые	55—45 40	50—40 45
	средние	45—40 45	45—35 40
	темные	45—35 40	40—30 35

Таблица 17. Коэффициент полезного действия для отраженного освещения во внутренних помещениях.

	Состояние потолка		
	светлый	средний	темный
Состояние стен	светлые	40—30 35	30—20 25
	средние	35—25 30	25—15 20
	темные	30—20 25	20—10 15

¹⁾ В настоящее время в литературе часто выражение «коэффициент полезного действия» заменяют выразением «коэффициент использования».

²⁾ Bloch, Lichttechnik, S. 561, München-Berlin 1921, R. Oldenbourg.

Таблица 18. Коэффициент полезного действия для уличного освещения.

Расположение ламп	Способ распределения света			
	Концентрир.	Широко разбр.	для высокого подвеса	
Ширина улицы высота подвеса	больше 6 от 3 — 6 меньше 3	$\frac{\%}{50}$ (55—45)	$\frac{\%}{45}$ (50—40)	$\frac{\%}{40}$ (45—35)
		$\frac{\%}{45}$ (50—40)	$\frac{\%}{40}$ (45—35)	$\frac{\%}{35}$ (40—30)
		$\frac{\%}{40}$ (45—35)	$\frac{\%}{35}$ (40—30)	$\frac{\%}{30}$ (35—20)

b) Влияние высоты подвеса и расстояния между лампами.

С увеличением высоты подвеса и расстояния между лампами, в предположении отсутствия отражения от стен и потолка, средняя горизонтальная освещенность уменьшается, в то время как равномерность освещения увеличивается.

Во внутренних помещениях с светлыми потолками и стенами достигнутая освещенность мало зависит от высоты подвеса. При подвесе ламп следует принимать во внимание, что при прямом освещении для уменьшения слепящего действия лампы должны находиться возможно выше, а при отраженном свете следует хорошо освещать потолок и фриз стен.

Высота подвеса неподвижно прикрепленных источников света над полом в жилых помещениях составляет от 2,25 до 2,5 м, в ресторанах и торговых помещениях—от 3 м и выше.

При освещении внешних пространств высота подвеса зависит главным образом от силы света ламп. Для приблизительного определения высоты подвеса h служит формула Блоха¹⁾

$$h = 3,5 + \sqrt{I:10},$$

где I означает среднюю горизонтальную или среднюю полусферическую силу света лампы в арматуре.

Расстояние между лампами во внутренних помещениях незначительно влияет на равномерность освещения, в особенности при светлых стенах и потолке. По Нейска²⁾ рекомендуется выбирать расстояние между лампами во внутренних помещениях равным от 1,5 до 2,5 кратной высоты светового центра источника (высота подвеса над рабочей поверхностью). При освещении внешних пространств выбор расстояния между лампами данной силы света зависит главным образом от требуемой равномерности и минимальной величины горизонтальной освещенности].

1) Bloch, Lichttechnik, S. 285.

2) P. Neuska, Beleuchtung, Leipzig 1924, Verlag Jaenecke.

c) Методы расчета освещения.

Вместо старого очень распространенного способа подсчета общего количества свечей на основании таблиц, дававших для различных помещений число свечей на 1 м² пола, теперь для расчета освещения применяется так называемый метод коэффициентов полезного действия. Когда же дело идет об ориентировочном подсчете установки электрического освещения, то значительные услуги оказывает „правило ватт“ Нейска и Нёггера.

При методе коэффициента полезного действия исходят из площади пола освещаемого помещения и требуемой средней величины освещенности $E_{ос}$, для которой при коэффициенте полезного действия η требуется световой поток

$$F = E_{ос} S : \eta.$$

Если z —число предположенных к установке ламп, то для отдельной лампы световой поток будет $\varphi = E_{л} S : z \eta$ а средняя сферическая сила света

$$I_{с} = E_{л} S : 4 \pi z \eta$$

Если η , как это всегда имеет место на практике, есть правильная дробь, то, выраженная в % (η'), можно иметь для расчета более упрощенную формулу:

$$I_{с} = 8 E_{л} \cdot S : z \cdot \eta'.$$

Если же электрические лампы нормированы на ватты, то делением светового потока на световую отдачу можно получить номинальное потребление энергии для данных ламп.

Для приблизительных подсчетов дана таблица 19, из которой непосредственно видно, какое количество свечей надо взять, чтобы получить среднюю освещенность на какой-нибудь определенной площади.

Предполагается, что коэффициент полезного действия осветительной установки равняется 40%¹⁾.

Таблица 19. Вспомогательная таблица для расчета освещения.

Вакуумные лампы с металлической нитью ($\eta' = 40\%$).

НК _h	Площадь пола в м ² при средней освещенности в Лх							
	2	5	10	20	30	50	80	100
5	10	4,0	2,0	1,0	(0,66)	(0,4)	(0,5)	(0,2)
10	20	8,0	4,0	2,0	1,3	(0,8)	(0,5)	(0,4)
16	32	12,8	6,4	3,2	2,1	1,28	(0,8)	(0,64)
25	50	20	10	5,0	3,3	2,0	1,25	1,0
32	64	25,6	12,8	6,4	4,2	2,5	1,6	1,28
50	100	40	20	10	6,6	4,0	2,5	2,0
100	200	80	40	20	13	8,0	5,0	4,0

Газонаполненные лампы с металлической нитью для 220 вольт ($\eta' = 40\%$).

W	Площадь пола в м ² при средней освещенности в Лх							
	2	5	10	20	30	50	80	100
40	62	25	12	6,2	4,1	2,5	1,5	0,6
60	110	44	22	11	7,3	4,4	2,7	2,2
75	150	60	30	15	10	6	3,7	3,0
100	220	88	44	22	14,5	8,8	5,5	4,4
150	367	147	73	36	24	14	9,2	7,3
200	527	211	105	52	35	21	13	10,5
300	862	345	172	86	57	34	21	17,2
500	1582	633	316	158	106	63	49	52
750	(2535)	1014	507	253	169	101	63	51
1000	(3470)	1389	694	347	231	139	87	69
1500	(5510)	(2206)	1103	551	367	220	138	110

1) Bloch, Lichttechnik, S. 562.

Правило ватт Нейска и Нёбнера, выведенное ими из формулы коэффициента полезного действия, с допущением некоторых упрощений действительно, как приближенное правило, для помещений с белыми потолками и хорошей арматурой, для света преимущественно прямого, для диффузно-направленного и для полуотраженного, в предположении освещения газонаполненными лампами на 220 вольт, мощностью от 100 до 500 ватт. Правило ватт устанавливает, что при 10 ваттах на 1 м², в зависимости от мощности лампы накаливания, получается освещенность от 55 до 75 Лх, а в среднем 65 Лх. При лампах на 110 вольт получается освещенность выше приблизительно на 15%.

Для помещений с загрязненными потолками, для которых рекомендуется точечный метод, Нейск и Нёбнер указывают приблизительно:

50 Лх при прямом и преимущественно направленном свете,

90 Лх при направленном свете,

как эквивалент превращения мощности, 10 ватт на 1 м² при употреблении газонаполненных ламп на 220 вольт, мощностью 200—500 ватт.]

С. Внутреннее освещение.

а) Необходимая величина освещенности.

По нормам немецкого Осветительного общества ¹⁾ в таблице 20 указаны минимальные величины освещенностей для различных случаев. Цифры первой графы представляют собой требуемую среднюю величину освещенности, во второй графе—минимальные величины освещенности, являющиеся нижним пределом освещенности любой точки в данном помещении.

Таблица 20. Необходимая величина освещенности во внутренних помещениях ²⁾.

Род освещения	Величина освещенности:	
	I средняя Лх	II минимальная Лх
Рабочее освещение:		
для грубых работ: валя, мельница, кузница, грубая монтаж и т. д.	15—30	10
для средних работ: валя, слесарные, токарные, сборочные, формовочные, столярные, жестяночное производство, правильные, ткацкие для светлой пряжи и т. д.	40—60	20
для тонких работ: валя, точной мельницы, ткацкие для цветной и тонкой пряжи, конторы и т. д.	60—90	30
для самых тонких работ: валя, часовое и граверное производство, наборное, швейное, рисование и т. д.	90—250	50
Освещение дорог, проходов и дворов:		
помещений второстепенного значения, просек дорог, проходов, дворов, если они служат для сообщения площадок, боковых проходов и дополнительных помещений	1—2	0,2
складов, кончат ожидания, входов и выходов, главных проходов, лестниц, мастерских	2—5	0,6
	5—15	2

¹⁾ Leitätze der D. V. G. für Innenbeleuchtung der Gebäude u. s. w. Sonderdruck, hrsg. von der D. V. G., E. V., Berlin W 35, Am Karlsbad 13.

²⁾ В настоящее время в СССР имеются правила искусственного освещения фабрик, заводов, мастерских и других рабочих и служебных помещений, одобренные IX Электро-техническим съездом. Журнал "Электричество", 1928 г., №№ 12—14.

помещении. В интересах питательности и точной работы, удобно и беспритязательно движение рекомендуется выбирать величины освещенности значительно более высокие, чем приведенные в таблице (при дневном освещении в большинстве случаев освещенности имеют значения, во много раз превосходящие данные графы 1).

Рабочим освещением является освещенность рабочей поверхности, или места работы, а освещенность проходов, улиц и т. п. измеряется на высоте 1 метра.

[Величины освещенности в жилых и других помещениях берутся сообразно выполняемой в них работе и роду деятельности].

б) Выбор рода освещения и расположение лампы.

Если в распоряжении находится электричество и газ, то, исходя из чисто эксплуатационных расходов, выбор рода освещения определяется ценой обеих видов энергии. Если же наиболее важным является быстрое включение, большая частота, меньшее загрязнение окраски помещения, то выбор падает на электрическое освещение.

[Для изолированно лежащих небольших поселений, гостиниц, вилл и т. д. применяется воздушный газ, аэтилен и небольшие блокстанции (двигатели внутреннего сгорания, дизель и аккумуляторная батарея). Употребляются также для освещения обыкновенные керосиновые лампы, керосинно- и спирто-калильные лампы.]

При выборе рода лампы и арматуры и их размещения нужно принимать во внимание, что иногда требуется только хорошая горизонтальная освещенность, а иногда также требуется и достаточная вертикальная освещенность, как, например, в картинных галереях, в рисовальных залах с вертикальными досками].

в) Отраженное освещение.

Для многих случаев, как-то: освещение школ, чертежных и фабричных зал, бывает выгодно смягчать сильные контрасты (падающие тени), возникающие при прямом освещении, примененном полуотраженного или отраженного освещения. В первом случае видимая часть рефлекторов делается из сильно рассеивающих свет материалов, во втором случае—из непрозрачных материалов. Стенная диффузность освещения приходится выбирать сообразно выполняемой работе, так как вполне отраженное освещение уменьшает восприятие рельефности предметов, благодаря полному отсутствию теней.

Коэффициенты полезного действия отраженного освещения даны в таблице 17.

д) Специальные случаи.

1. Фабричное освещение. Выбор средств для достижения хорошего фабричного освещения зависит в каждом отдельном случае от природы данного помещения (многоэтажные и одноэтажные помещения, помещения с большими перекрытиями и т. д.) и от рода нужного освещения (общее и местное освещение). Общие руководящие указания даны в нормах немецкого Осветительного общества. Ниже приводится выборка из этих норм ¹⁾.

¹⁾ Leitätze für die Innenbeleuchtung der Gebäude u. s. w., Sonderdruck von der D. V. G. E. V.

[Осветительная установка должна соответствовать требованиям безопасности, гигиены и надежности эксплуатации. Для предупреждения образования скоплений легко горючей пыли и взрывчатых газов нужно принимать соответствующие меры. Продукты старения и образующиеся в осветительной установке тепло должны в достаточной мере удаляться. Независимо от главной осветительной установки нужно предусмотреть запасное освещение.

Освещенность должна быть достаточно сильной. Сравнить таблицу 20, стр. 1174. Желательны более высокие нормы по сравнению с указанными. В остальном восприятие зависит от контраста и от количества света, попадающего в глаз. При работе с темными материалами необходима более сильная освещенность. Смотри по роду работы, применяется местное или общее освещение. Местное освещение производится низко подвешенными лампами, снабженными глубокими рефлекторами, защитными экранами глаза от ослепления и двоящим освещением только на ограниченный участок работы; при этом необходимо общее освещение для передвижения. Общее освещение производится высоко подвешенными лампами, освещающими все помещение. Лампы, колпаки, рефлекторы, подолки и стены должны поддерживаться в чистом состоянии во избежание уменьшения освещенности. При дневном освещении нужно содержать окна и верхний свет в чистом состоянии.

Освещение не должно вызывать сильного слепящего действия, чтобы тем самым не уменьшать способность глаза к различению предметов. Слепящее действие производит:

при общем освещении и при освещении проходов лампы с яркостью, большей 5 НК/см², если они бросают свет прямо в глаза;

при местном освещении — источники света с яркостью, большей 0,75 НК/см², бросающие свет прямо в глаза;

при всяком освещении блестящие поверхности, зеркально-отражающие свет в глаза работающего.

При общем освещении лампы, имеющие яркость, большую, чем 5 НК/см², не производят слепящего действия, если они так подвешены, что угол между вертикалью и линией, соединяющей глаз с лампой, не превышает 30°. Для местного освещения современные источники света, газодисcharge и электрические лампы, голыми применяться не могут, так как их яркость значительно превышает 0,75 НК/см². Простая матировка в большинстве случаев недостаточна для уничтожения блескости.

Освещение не должно давать мешающих резких теней, а также большой местной или общей неравномерности; последнее относится также и к временным колебаниям освещенности. Нужно заботиться о хорошем распределении света и о правильном направлении падающих световых лучей. Мешающие резкие тени могут быть уничтожены правильным расположением ламп, их числом (в особенности при прямом освещении) и выбором рода освещения, полупрозрачного или отраженного. Значительные неравномерности освещения, могущие вызвать несчастные случаи (поскольку они местного характера), могут быть устранены правильным выбором ламп и их распределением. Временные колебания освещенности удается избежать при соблюдении целесообразных условий эксплуатации и целесообразным устройством расположения ламп (при газовом освещении —

постоянное давление, при электрическом — постоянное напряжение, при переменном токе — еще также правильный выбор типа лампы согласно числу периодов тока). Правильное направление падения света при местном освещении лучше всего устанавливать при помощи переносной лампы. При общем освещении нужно заботиться о том, чтобы искусственный свет падал с той же стороны, как и дневной свет].

2. Освещение театральных, концертных, лекционных и парадных зал. Освещение служит также и декоративным целям. Кроме прямого освещения, которое часто выполняется при помощи голых источников света, применение коих возможно благодаря высоте помещений, применяется также отраженное и полупрозрачное освещение, а иногда и окрашенный свет.

[В этих установках нужно предусмотреть соответствующие приспособления для уменьшения света, а при газовом освещении, кроме того, и приспособление для зажигания. В театрах следует принимать во внимание специальные правила противопожарной безопасности и устранивать завесное освещение¹⁾. В лекционных и концертных залах кафедры лекторов и полиграфистов следует освещать так, чтобы избежать слепящего действия на зрителей].

3. Освещение сцены. Для софитного освещения служат осветительные приборы с рядами ламп накаливания. Часто применяются специальные сорта ламп, так называемые софитные лампы. Для цветного освещения сцены находят себе применение одно- и многоламповые системы.

[В первом случае цветной эффект достигается применением светофильтров и неокрашенных ламп. При многоламповой системе (система Брандта) цветные эффекты достигаются комбинацией белых, красных и сине-зеленых ламп (3-ламповая система) или белых, красных, сине-зеленых и желтых ламп (4-ламповая система). Освещение горизонтов производится по системе АБГ, SSW и фирмы Schwabe & Co²⁾ помощью прямого освещения газонаполненными лампами. Новые многоламповые осветительные системы выполняются также и газонаполненными лампами].

4. Освещение поездов. Железнодорожные вагоны освещаются отчасти инвертными горелками, отчасти электрическими лампами накаливания. Для запасного освещения служат масляные лампы. При газовом освещении необходимы постоянно горящие запальные приспособления, потребляющие в час приблизительно 6 литров газа. Электрическое освещение поездов осуществляется в большинстве случаев по индивидуальной системе с применением только аккумуляторной батареи, или от динамо-машины, приводимой от оси вагона в связанной с аккумуляторной батареей. См. III т., отдел жел.-дор. транспорта.

5. Освещение в фототехнике²⁾. При употреблении искусственного света для съемки и для печатания важно, в первую очередь, фотографическое или активное действие источника света, которое отличается короткой длиной волны и слабо действует на зрительное восприятие, во второе излучение с короткой волной главным образом обуславливает

¹⁾ Normale, Vorschriften und Leitsätze des Verbandes Deutscher Elektrotechniker 1914, Errichtungsrichtlinien §§ 38, 39.

²⁾ См. Т. I, стр. 467.

фотографический эффект. В таблице 21 даны по Блоху¹⁾ активности ряда источников света, приняты активности свечи Гейффера за единицу. Активность в данном случае принимается, как отношение фотографического действия к фотометрическому.

Таблица 21. Активность источников света.

Источники света	Активность	Источники света	Активность
Лампа Гейффера	1	Дуговая лампа с эффекторсепиум углем	30
Керосиновая лампа	1,5	Дуговая лампа продолжительного горения постоянного тока на 110 вольт	100
Газо- и спиртокапельное освещение	3	То же для 220 вольт	200
Минерное освещение	20	То же для переменного тока 220 вольт	150
Лампа с угольной нитью	2	Кварцевая ртутная лампа	50
Вакуумная лампа с металлической нитью	4,5	Дневной свет	12—25
Газонаполненная лампа	7		
Дуговая лампа с чистыми углями	20—25		

[Кроме активности при съемках играет также роль и относительное распределение энергии в спектре, если дело касается воспроизведения цветных объектов. Поэтому, смотря по требованию к окраске источника света, кроме дуговых ламп употребляются также и газонаполненные лампы, часто в виде ламп дневного света. Для процесса печатания, в котором все требования, кроме активности, отсутствуют на задний план, лучше всего подходит дуговая лампа продолжительного горения].

D. Освещение внешних пространств и больших крытых помещений.

а) Необходимая величина освещенности.

Для наружного освещения, которое приспособляют по силе и качеству к требованиям движения и общественной безопасности, установлены нормы германским Осветительным обществом²⁾. Освещенность внешних пространств определяется, как горизонтальная освещенность на высоте 1 м от поверхности земли. Освещение оценивается по величинам средней и минимальной освещенности в наиболее неблагоприятных, но не затененных точках. Величины освещенностей должны быть во время нормального движения не ниже значений, приведенных в таблице 22.

[В позднее время, когда нет нормального движения, освещенность может быть уменьшена сообразно значению улиц или площадей, и даже иногда можно перейти на эксплуатацию небольшого количества ламп, дающих возможность различать направление.

При наружном освещении также нужно избегать раздражающих неравномерностей, колебаний освещенности, резких теней, слепящего

¹⁾ Bloch, Lichttechnik, S. 578.

²⁾ Leitätze der D. V. G. (см. выше: стр. 1174, примечание 1).

Таблица 22. Требуемые величины освещенности наружных пространств.

	Средняя величина освещенности Lx	Величина освещенности в наиболее неблагоприятной точке (минимальная) Lx
	На рельсовых путях	0,2—0,5
" " " в области стрелок, на фабричных дворах, на набережных	0,5—1,5	0,2—0,5
На улицах и площадях: со слабым движением	1—2	0,1—0,5
с усиленным движением (на площадях перед вокзалами, в центрах движения в больших городах)	3—5	0,5—1
	5—20	1—4

действия уличного освещения, витрин, рекламных и сигнальных ламп. Источники уличного освещения не должны мешать действию сигнальных ламп, а также и путать сигналы).

б) Уличное освещение¹⁾.

Для уличного освещения применяют газ и электричество. Для газового освещения употребляются газовые горелки высокого и низкого давления, пиллертные и обыкновенные. При электрическом освещении преобладают газонаполненные лампы, хотя еще употребляются и пламенные дуговые фонари продолжительного горения, и металлические вакуумные лампы. В одной armature при газовом освещении совмещают до трех и больше горелок, при электрическом освещении — до трех ламп. Помощью выключения части горелок, после окончания усиленного движения можно достигнуть экономии, не изменяя равномерности освещения. При газе рекомендуется применять выключение на расстоянии; при электрическом освещении — центральное выключение на расстоянии и контроль. Зажигание газа на расстоянии производится или изменением давления в газопроводе, или средствами, независимыми от газопроводов (включающие часовые механизмы, действующие сжатым воздухом, механическим или электрическим приводом). Более подробные указания о высоте подвеса, расстоянии между фонарями при различных сортах ламп в установках уличного освещения больших городов даны в таблице 23²⁾.

в) Освещение рельсовых путей и вокзалов³⁾.

Газонаполненные лампы совершенно вытеснили дуговые фонари в освещении вокзалов и рельсовых путей. При газе применяются почти исключительно наветренные горелки. Где отсутствуют электричество и газ, употребляются керосинокальные и ацетиленовые лампы. При освещении рельсовых путей с большим движением и товарных станций, где препят-

¹⁾ См. G. R. Nylo, Elektrische Strassenbeleuchtung, und W. Bertelsmann, Die Strassenbeleuchtung mit Gas, in Bloch, Lichttechnik, S. 297, bzw. 321.

²⁾ G. R. Nylo, осветит. см. выше.

³⁾ См. W. Schmann, Beleuchtung von Bahnanlagen und Fahrzeugen, in Bloch Lichttechnik, S. 482.

Таблица 23. Для уличного освещения по оси улицы.

	Средняя горизонтальная освещенность Лх	Сила света лампы ПК ₀	Высота подвеса м	Расстояние между лампами по улице м
Главные площади				
Больших городов	15—30	3000—6000	16—18	40—50
Улицы с весьма большим движением	10—20	2000—4000	8—10	30—45
Улицы с большим движением	5—10	600—2000	6—8	30—60
Улицы с средним движением	1,5—5	200—600	4,5—6	30—80
Улицы со слабым движением	0,5—1,5	50—150	3,5—5,5	30—80

ствя должны быть легко различимы, нужно обращать внимание на большую равномерность освещения и на полное отсутствие блисткости.

[У важных стрелок лампы должны быть расположены сзади или сбоку стрелок по отношению линии зрения из будки управления. Лампы должны регулираться и часто очищаться. Сигнальные фонари у стрелок большей частью снабжены керосиновой лампой с плоским или круглым фитилем; в последнее время отчасти такие лампы заменяются электрическими лампами]

д) Освещение прожекторами (авто-прожектора¹⁾)

Под понятием прожектор²⁾ в широком смысле подразумевается комбинация источника света с зеркалом или линзой, цель которых воспроизвести источник света как-нибудь с помощью этих оптических приспособлений. Приборы этого рода могут применяться для освещения отдельных предметов (прожектора в узком смысле) или сигнальные, как в маяках и т. д.

Прожекторами можно пользоваться для изображения других предметов (проецирующие и в кино-аппаратах). Прожектора имеют тем больший эффект, чем выше яркость употребляемого источника света, чем в большем телесном угле улавливается световой поток источника света и чем больше поперечное сечение его оптической системы. Для достижения сильного светового действия на больших расстояниях употребляются в прожекторах электрические дуговые лампы, электрические лампы накаливания и ацетиленовые горелки. При электрических дуговых лампах можно усилить световой эффект употреблением специальных углей по системе В е к G e h h o f f a. Для получения более слабого действия можно употреблять сжатый газ, спирто- и керосинокалильные горелки, Друммондов свет, масляный и светильный газы.

[Прожектора, укрепленные на автомобилях, должны давать возможность шоферу машины обозреть улицу для предотвращения столкновений в несчастных случаях, но в то же время не ослеплять пешеходов и лиц, едущих навстречу в экипажах; за границей для этого изданы специальные предписания²⁾. Мощные прожектора на автомобилях не должны

¹⁾ См. G. G e h h o f f, Leuchtgerät mit Optik, Bloch, Lichttechnik, S. 472.

²⁾ Verordnung über Kraftfahrzeugverkehr vom 15 März 1923 und Bekanntmachung über Kraftfahrzeug-Scheinwerfer vom 29 August 1923 (Reichsministerialbl. № 47, 1923, S. 920).

применяться; таковыми считаются прожектора с электрическими лампами накаливания более 35 ватт, газокалильные фонари или фонари, работающие на каком-либо другом горючем, при чем если к ним подводится сжатый воздух или кислород.

Мощные прожектора могут применяться на автомобилях при поездках на загородных дорогах, но должно, исключая случай сильного тумана, в поселках и при встрече с другими экипажами, уменьшать их силу света. Маломощные прожектора могут применяться везде. Мощными прожекторами считаются также прожектора, работающие ацетиленом или другим газом, в которых часовой расход горючего больше 21 литра и если их световой конус пересекается с дорогой на расстоянии, большем 60 метров от экипажа. Маломощными ацетиленовые прожектора считаются, когда потребление ими горючего меньше 21 литра в час, или когда при большем часовом расходе горючего, средняя светового конуса пересекает дорогу на расстоянии, меньшем 60 метров от экипажа. Для прожекторов с электрическими лампами соответствующие указания сведены в таблицы, данные В l o c h³⁾.

е) Время горения.

В таблице 24 даны для Берлина темные часы по месяцам, отдельно за год и за 300 дней. Из таблицы можно получить время горения для всех зависящих от дневного света установок, а также время, с которого необходимо включать искусственное освещение.

Таблица 24. Календарь горения в темные часы.

	От захода солнца												За 300 дней						
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь		В году					
До 4 часов вечера . . .	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	7	9	8		
" 5 " . . .	18	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	27	38	89	73	
" 6 " . . .	49	24	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29	57	69	233	192	
" 7 " . . .	80	52	29	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	87	100	436	359	
" 8 " . . .	111	80	60	32	7	—	—	—	—	—	—	—	—	59	91	117	131	703	578
" 9 " . . .	142	106	91	62	37	20	24	51	83	122	147	162	1699	862					
" 10 " . . .	173	136	122	92	68	50	55	82	113	153	177	193	1414	1161					
" 11 " . . .	204	164	152	122	99	83	86	113	143	184	207	224	1779	1462					
" 12 " . . .	235	192	184	152	130	110	117	144	173	215	237	255	2144	1762					
До восхода солнца . . .	455	397	378	304	257	220	241	292	341	416	459	506	4206	3531					
От полудня . . .	250	205	194	152	127	110	124	148	168	201	222	251	2152	1769					
От 1 часа утра . . .	219	177	163	122	96	80	93	117	138	170	192	220	1787	1469					
" 2 " . . .	188	149	132	92	65	50	62	86	108	139	162	189	1422	1169					
" 3 " . . .	157	121	101	62	34	20	31	55	78	108	132	158	1057	869					
" 4 " . . .	126	83	70	32	5	—	—	24	48	77	102	127	706	581					
" 5 " . . .	95	65	39	—	—	—	—	—	18	46	72	96	438	360					
" 6 " . . .	64	37	10	—	—	—	—	—	—	15	42	65	233	192					
" 7 " . . .	33	10	—	—	—	—	—	—	—	—	12	34	89	73					
" 8 " . . .	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	7					

³⁾ В l o c h, Allgemeine Automobilzeitung, 1924, S. 22.

V ОТДЕЛ. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА.

Перевод с немецкого инженером М. Я. Бриллиант и Т. Л. Гинзбург
под редакцией проф. В. А. Александрова.

I. Общие данные.

а) Единицы электрических измерений.

В основу системы электрических измерений положена система С. Г. С. (сантиметр—грамм—секунда) (том I, стр. 196). Практические значения мер ом, ампер и вольт установлены в 1908 году Международной электротехнической комиссией в соответствии с германским законом относительно единиц электрических измерений от 1 июня 1898 г.¹⁾

Закон устанавливает следующее:

Ом (Ω) — единица электрического сопротивления — представляет сопротивление ртутного столба (при температуре таяния льда), длина которого, при постоянном сечении в 1 мм² равна 106,3 см и масса которого составляет 14,4521 г.

Ампер (А) — единица силы электрического тока. Невзаимодействующий ток, который при проходе через водный раствор азотнокислого серебра выделяет 0,001118 г серебра в секунду.

Вольт (В) — единица электродвижущей силы — представляет электродвижущую силу, дающую электрический ток, силой в 1 ампер в проводнике, сопротивление которого равно 1 ому.

В соответствии с этими основными единицами находятся:

Куло н — единица количества электричества — представляет количество электричества, соответствующее току 1 А в течение 1 сек (амперсекунда).

Джау л — единица электрической работы — работа производимая в течение 1 сек током 1 А в цепи сопротивлением 1 Ω (ваттсекунда).

Ватт — единица электрической мощности — мощность соответствующая 1 джаулу в сек (ватт = вольтампер).

Фарад — единица емкости — емкость конденсатора, у которого при заряде в 1 кулон устанавливается напряжение между обкладками 1 В.

Генри — единица самоиндукции — самоиндукция, при которой изменение тока на 1 А в 1 сек вызывает электродвижущую силу 1 В.

Сименс — единица проводимости — проводимость проводника с сопротивлением 1 Ω .

Производными единицами электрических измерений²⁾ являются, напр.:

- 1 мегом = 1 миллиону ом,
- 1 микрофарад = 1 миллионной доле фарада,
- 1 киловатт = 1 тысяче ватт,
- 1 миллиампер = 1 тысячной доле ампера.

Для различия в е д и н и ц и соответствующих им е д и н и ц установлены определенные обозначения (таблица 1).

¹⁾ По этому закону из государственной Физико-технической институт возложено изготовление ртутных эталонов ома, сопротивления, связанных соответствующими эталонными вставками и гальванически с нормальных элементов (стр. 1207) для определения напряжений и сил токов; на него же возложено официальное испытание и проверка электрических приборов.

²⁾ Таблицы для взаимного перевода различных единиц работы и мощности см. том I, стр. 118 и 1114.

Таблица 1. Единицы электрических и магнитных измерений.

Физическое величина	Наименование	Технические единицы		Производные единицы		Обозначение	Значение в системе С. Г. С.	Наименование	Обозначение	Значение в системе С. Г. С.
		Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение					
Сопротивление	R	$L T^{-1}$	R	Ω	Ω	Ом	10 ⁹	Мегом	M Ω	10 ¹⁵
Сила тока	I	$L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$	I	А	А	Ампер	10 ⁻¹	Миллиампер	mА	10 ⁻⁴
Электродвижущая сила	E	$L^{1/2} M^{1/2} T^{-2}$	E	В	В	Вольт	10 ⁸	Милливольт	mV	10 ⁵
Проводимость	G	$L^{-1} L$	G	С	С	Сименс	10 ⁻⁹	Мегагенс	MS	10 ⁻²
Количество электр.	Q	$L^{1/2} M^{1/2}$	Q	Кулон (амперсекунда)	К	Кулон (амперсекунда)	10 ⁷	Амперчас	Ач	$3,6 \times 10^2$
Заскравская работа	A	$L^2 M T^{-2}$	A	Джауль (ваттсекунда)	Д	Джауль (ваттсекунда)	10 ⁷	Киловаттчас	kWh	$3,6 \times 10^{13}$
Электрическая мощность	N	$L^2 M T^{-3}$	N	Ватт (вольт ампер)	В	Ватт (вольт ампер)	10 ⁷	Киловатт	kW	10 ¹⁰
Емкость	C	$L^{-1} T^2$	C	Фарад	F	Фарад	10 ⁻⁹	Микрофарад	μF	10 ⁻¹⁵
Индукция	L	L	L	Генри	H	Генри	10 ⁹	Миллигенри	mH	10 ⁶
Сила магнитного поля	S	$L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$	S	Гаусс ³⁾	G	Гаусс ³⁾	1	Килогаусс	kG	10 ³
Магнитная индукция	\mathfrak{S}	$L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$	\mathfrak{S}	Жильберт	Jb	Жильберт	1	Мегамаксвелл	M μ	10 ⁶
Магнитодвижущая сила	V	$L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$	V	Максвелл	Mx	Максвелл	1			
Магнитное напряжение	Φ	$L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$	Φ							
Поток индукции	R_m	$L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$	R_m							
Магнитное сопротивление	B_m	$L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$	B_m							
Магнитная проводимость	G_m	$L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$	G_m							

¹⁾ L — длина; M — масса; T — время.

Вместо указанного обозначения размерности применяется часто единица С. Г. С., так напр.: для сопротивления — см²/10⁹.

²⁾ Для \mathfrak{S} лучше Максвеллы на см².

³⁾ Соотношения между разными, магнитными, электрическими и тепловыми единицами даны таблицами в томе I стр. 196, 202.

б) Основные законы магнетизма.

Единицы магнитных измерений и их размерность см. таблицу 1.

Магнитный полюс, единица силы полюса, сила полюса. Воображаемый изолированный (в виде точки) магнитный полюс с силой m_1 , вызывает в другом с силой m_2 , находящемся на расстоянии l полюса P , величина которой определяется законом Кулона $P = m_1 m_2 / l^2$. Одноименные полюсы отталкиваются, разноименные — притягиваются. Единицей силы обладает полюс, действующий на равный ему, находящийся на расстоянии 1 с силой, равной 1 дине (см. том I, стр. 196).

Магнитное поле, сила магнитного поля \mathcal{H} . Каждая точка в пространстве, в которой на магнитный полюс силой m действует магнитная сила P , принадлежит к магнитному полю, сила которого (сила поля) определяется отношением $\mathcal{H} = P / m$.

Единицей силы магнитного поля обладает такое поле, в котором на магнитный полюс 1 действует сила в однудину. Единица силы магнитного поля носит название гаусса. Магнитные поля обыкновенно вызываются электрическими токами. В этих случаях сила поля может быть выражена числом ампервитков на см (AW: см) или ампер на см A: см (подр. см. стр. 1190).

Магнитные линии поля. Магнитное поле в пространстве может быть представлено посредством магнитных линий поля, направление которых в каждой точке соответствует направлению силы, действующей на магнитный полюс. Мерой силы поля служит число линий поля, пересекающих под прямым углом площадь в 1 cm^2 (плотность линий поля). Таким образом, магнитное поле, силой в 1 может быть представлено одной линией, проходящей на 1 cm^2 . В равномерном поле линии поля предполагаются параллельными при одинаковой плотности их. От магнитных линий поля¹⁾ следует отличать магнитные линии индукции. Числовые значения их совпадают только для поля в воздухе (см. ниже).

Магнитная индукция \mathcal{B} , линии индукции, поток индукции. Магнитное поле силой \mathcal{H} (число линий поля на cm^2) вызывает (индуцирует) в находящемся внутри него теле магнитную индукцию \mathcal{B} , величину $\mathcal{B} = \mu \mathcal{H}$ (число линий индукции на cm^2). Таким образом, внутри тела можно представить себе одновременно существование линий поля и в μ раз большее число линий индукции. Линии индукции представляют замкнутые кривые. Сумма всех линий индукции в каком-либо теле представляет поток индукции $\Phi = \mathcal{B} q$, где q представляет сечение тела с равномерно распределенными линиями индукции; μ называется коэффициентом магнитной проницаемости. Для воздуха $\mu = 1$.

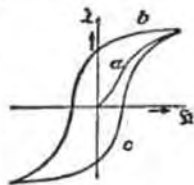
Парамагнитными называются тела, для которых $\mu > 1$, диамагнитными те, для которых $\mu < 1$. Для тех и других тел μ остается величиной постоянной. Ферромагнитными называются тела, для которых μ во много раз больше 1 и меняется в широких пределах в зависимости от индукции \mathcal{B} . Важнейшим из них является железо.

¹⁾ Слово «линии» в физике обыкновенно называют линиями поля, а в электротехнике — линиями индукции.

Кривая намагничивания дает соотношение между силой поля и индукцией $\mathcal{B} = f(\mathcal{H})$ (фиг. 1635, линия *a*). Величина индукции для различных тел может быть определена из таблиц, в зависимости от AW/cm (таблица 6, стр. 1191).

Немагнитные практические сплавы железа могут быть получены путем добавления 25% никеля или 10% марганца.

Гистерезисом, или задерживающей силой, называют свойство магнитных тел (железа) отставать по силе магнетизма от намагничивающей силы. Если искусственно размагниченное железо намагничивать при постоянно увеличивающейся силе поля, то получают начальную кривую *a* (фиг. 1635); при уменьшающейся до нуля, а затем увеличивающейся в противоположном направлении до той же абсолютной величины силе поля, получают линию *b*, а далее соответственным образом и линию *c*. Петля гистерезиса, т. е. площадь между кривыми *b* и *c*, дает меру работы¹⁾ затраченной на перемагничивание $= [1 : (4\pi)] \cdot f \mathcal{H} d\mathcal{B}$ в эргах. Работа эта целиком преобразуется в тепло и она тем меньше, чем мягче железо. Значение \mathcal{B} при $\mathcal{H} = 0$ называется остаточным магнетизмом; значение \mathcal{H} для $\mathcal{B} = 0$ называется коэрцитивной, задерживающей силой. По Рихтеру²⁾ удельные потери в железе при частоте перемагничивания f



Фиг. 1635.

$$V_H = \varepsilon \frac{f}{100} \left(\frac{\mathcal{B}}{10\,000} \right)^2 \text{ ватт/кг.}$$

значения для ε см. таблицу 2.

Вихревые токи. При переменном магнитном поле (напр., при поле, получаемом от действия переменного тока) вследствие индукции (стр. 1192, 1196) вызываются в магнитном теле электрические токи — так называемые токи Фуко, или вихревые токи. Последние вызывают нагревание и соответственную потерю работы при намагничивании. Вихревые токи могут быть уменьшены путем деления тела на отдельные слои; поэтому электрические машины в тех частях, где они подвержены действию переменного магнитного потока, изготавливаются из железных листов толщиной от 0,35 до 0,50 мм с прокладкой из бумаги.

Листовое железо из специальных сплавов (железо с примесью силиция) обладает более высоким сопротивлением и, вследствие этого, меньшими потерями на вихревые токи. По Рихтеру потери на вихревые токи

$$V_w = \sigma \left(\frac{f}{100} \right)^2 \left(\frac{\mathcal{B}}{10\,000} \right)^2 \text{ ватт/кг;}$$

таким образом общие потери по Рихтеру³⁾

$$V = \left[\varepsilon \frac{f}{100} + \sigma \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \left(\frac{\mathcal{B}}{10\,000} \right)^2 \text{ ватт/кг.}$$

Для быстрого определения потерь в железе служат кривые фиг. 1636. Коэффициентом потери V_{10} и V_{15} называется общая потеря в W/kg на гистерезис и вихревые токи для 1 kg при $\mathcal{B}_{\text{max}} = 10\,000 \text{ C.G.S.}$

¹⁾ На единицу объема (cm^3)

²⁾ R. Richter, Elektrische Maschinen, стр. 152. Берлин, 1924. Ю. Шпрингер.

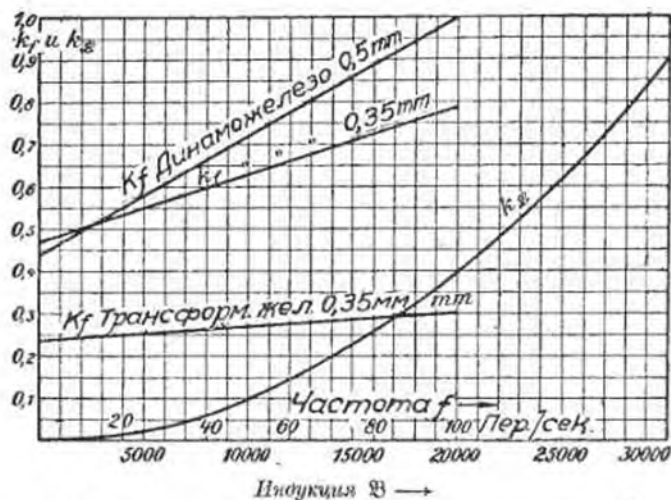
³⁾ Там же, стр. 157.

Таблица 2. Данные для листового железа.

Сорт железа	Толщина в мм	μ	σ	V_{10}	V_{75}
Динамовое железо	0,35	4,7	3,2	3,2	7,1
Специальные сорта железа (трансформ. железо)	0,5	4,4	5,6	3,6	8,1
	0,35	2,4	0,6	1,35	3,0

и 15 000 C.G.S., частоте 50, индукции изменяющейся по закону синуса при 20° C (согласно норм испытания VDE).

Под коэффициентом старения подразумевается процентное изменение коэффициента потерь V_{10} после первого нагревания в течение 600 часов при температуре 100°. Измерения производятся аппаратом Эпштейна.



Потери в железе: k_g в зависимости от индукции B
 $V = f k_f k_g$ watt/kg k_f в зависимости от частоты f

Фиг. 1636.

Магнитная цепь. Поток индукции, или магнитный поток, т.е. совокупность проходящих через тело линий индукции, является всегда полностью замкнутым, так как каждая из линий индукции является замкнутой кривой. Линии индукции могут полностью или частично проходить в магнитных телах (железо). В первом из обоих случаев говорят о замкнутой в железе магнитной цепи. Если линии проходят главным образом по железу и только на коротких участках (воздушные зазоры) по воздуху, говорят о замкнутой магнитной цепи. Магнитный поток индукции Φ зависит от вызывающей магнетизм силы V , а также

от формы и свойств тех тел, которые пересекаются силовыми линиями на проходном имп пути (стр. 1190). Вообще имеем:

$$\Phi = V : R_m$$

(так называемый закон Ома для магнитной цепи). Здесь V обозначает магнитодвижущую силу (МДС), а R_m — магнитное сопротивление цепи; это последнее равно $R_m = \sum (l : \mu q)$, где μ означает проницаемость, l — длину и q — поперечное сечение отдельных частей магнитной цепи, по которым проходит поток индукции. Так как $\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}$ и $\Phi = q \mathfrak{B}$, то

$$V = \sum \mathfrak{H} l$$

Простой магнитной цепью является магнит.

Притягательная сила магнитов

$$P = \mathfrak{B}^2 q : 8\pi \text{ дин} = 0,04 (\mathfrak{B} : 1000)^2 q \text{ kg.}$$

где q представляет поперечное сечение в cm^2 места перехода силовых линий в притянутое железо, а \mathfrak{B} — индукцию в нем.

[В магнитах из хорошей закаленной стали при замкнутой в железе магнитной цепи может быть достигнуто значение $\mathfrak{B} = 11500$, в замкнутой магнитной цепи магнето $\mathfrak{B} = 5000$, для магнитов измерительных приборов с подвижной катушкой применяют $\mathfrak{B} = 800 - 1500$. Подъемная сила электромагнитов определяется по той же формуле.

Основные законы электромагнетизма. Электромагнитная цепь (см. стр. 1190).

с) Основные законы для постоянного тока.

Закон Ома. При установившемся состоянии

$$E = IR, \quad I = E : R.$$

Здесь введены следующие обозначения: E — разность потенциалов между двумя любыми точками проводника, по которому проходит ток в V ,

I — сила тока в проводнике в A ,

R — сопротивление между теми же точками в Ω .

Законы Кирхгофа. 1. Для каждой точки разветвления $\sum I = 0$, т.е. в точке разветвления, сумма токов, вытекающих из этой точки, равна сумме токов, притекающих к ней.

2. При разветвляющихся проводниках, в которых действует несколько электродвижущих сил, имеем для каждой отдельной замкнутой цепи $\sum E = \sum IR$. Силы токов в электродвижущих силах берутся при этом со знаками, соответствующими их направлениям. Если опычнее падения напряжения рассматривать при этом как отрицательные электродвижущие силы, то $\sum E = 0$.

Из этих законов следует: при параллельном соединении нескольких сопротивлений R_1, R_2, R_3 сила тока в неразветвленной части равна сумме токов в ответвлениях $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ и токи в ответвлениях находятся в отношениях, обратных пропорциональным сопротивлениям $I_1 : I_2 : I_3 : \dots = 1/R_1 : 1/R_2 : 1/R_3 : \dots$. Полное сопротивление определяется из выражения $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$; напр., для двух параллельно соединенных проводников будем иметь

$$R = R_1 R_2 : (R_1 + R_2)$$

При Уитстоновом мостике (фиг. 1637), если стрелка гальванометра не дает больше отклонения (или если при применении переменных токов пропадает звук в телефоне), имеем неизвестное сопротивление

$$\alpha = bc : a.$$



Фиг. 1637.

Если все сопротивления лишены самоиндукции, эти законы, а также и закон Ома, действительны также для однофазных или длительно совпадающих по фазе переменных токов.

Для многофазных переменных токов в этом случае законы Кирхгофа действительны только для мгновенных значений, входящих в формулы величин (стр. 1193).

Омическое сопротивление. Сопротивление R в Ω проводника длиной l при постоянном поперечном сечении q mm² равно

$$R = \rho l : q = l : \lambda q.$$

Удельное сопротивление ρ (омы · mm²/m) зависит от материала и температуры проводника; то же касается проводимости, или удельной проводимости, λ . Повышение сопротивления для переменного тока см. стр. 1197. Для всех встречающихся в практике пределов температуры имеем достаточно точно $R_t = R_{15} [1 + \alpha(t - 15)]$, где R_{15} представляет сопротивление при 15°, R_t — сопротивление при t , α — температурный коэффициент, т. е. изменение ρ для 1° при начальной температуре 15°.

Увеличение температуры определяется в зависимости от увеличенного сопротивления по следующей формуле: $t_2 - t_1 = (R_2 - R_1) : \alpha R_{15} = (R_2 - R_1) : \alpha' R_1$, где R_1 и R_2 — измеренные сопротивления при начальной температуре t_1 и искомой t_2 , R_{15} — сопротивление и α — температурный коэффициент при 15°, $\alpha' = \alpha : [1 + \alpha(t_1 - 15)]$.

[Для меди $\alpha_0 = 0,00426$, $\alpha_{15} = 0,00400$, $\alpha_{20} = 0,00392$, $\alpha_{25} = 0,00385$. Упрощенное вычисление для меди см. стр. 1350].

Закон Джоуля. В проводнике сопротивлением R ом, по которому проходит ток I ампер, выделяется в t сек количество тепла $Q = 0,2390 I^2 R t$ калорий¹⁾. На этом основаны все электрические нагревательные приборы (стр. 1418), способы сварки, пайки и плавления.

Ток I ампер, проходящий по проводнику сопротивлением R ом, при разности напряжений на концах проводника E вольт, производит в t сек работу $A = EIt = I^2 R t$ джоулей (ваттсекунд), полностью превращающуюся в проводнике в тепло. Электрическая мощность, т. е. производимая в 1 секунду работа, равна при этом $N = EI = I^2 R$ ватт. Для переменных токов см. стр. 1197. Таблица для пересчета см. т. I, стр. 1163.

Электродитический закон Фарадея. Ток в I ампер выделяет в 1 сек из электролитической ванны количество вещества $m = \alpha It$ г.

α называется электрохимическим эквивалентом; он может быть получен в г/С из химического эквивалента (атомный вес, атомность) путем умножения последнего на $1,0363 \cdot 10^{-5}$. При опре-

Таблица 3. Удельное сопротивление* и температурный коэффициент при 15°.

Материал	ρ	α	Материал	ρ	α
Алюминий . . .	0,03	+ 0,0037	Платина . . .	0,091—0,11	+ 0,0024
Алюминивал (броня 1) . . .	0,18 — 0,29	+ 0,001	Тантал . . .	0,15	+ 0,003
Висмут . . .	1,2	+ 0,0037	Руть . . .	0,55	+ 0,0030
Железо . . .	0,10 — 0,14	+ 0,0045	Сп-си . . .	0,21	+ 0,0011
Констатант . . .	0,49 — 0,51	+ 0,00005	Серебро . . .	0,016—0,0175	+ 0,0030
Латунь . . .	0,07 — 0,08	+ 0,0015	Сталь . . .	0,10 — 0,25	+ 0,0045 до
Манганин . . .	0,42	+ 0,00001	Цинк . . .	0,06	+ 0,0045 до
Медь красная ²⁾ . . .	0,017—0,0175	+ 0,00400	Уголь газоп. . .	} 100—600	- 0,0035 до
Нейзильбер . . .	0,35 — 0,41	+ 0,00007	Твердые уголь-ные шетки . . .		
Никкелин . . .	0,40 — 0,44	+ 0,00022	Усан для дуго-вых ламп . . .		
Никкель . . .	0,1 — 0,12	+ 0,0041	Мягкие уголь-ные шетки . . .		
Олово . . .	0,12	+ 0,0045			

¹⁾ Медь с 5—10% алюминия.

²⁾ Медь для проводов, согласно норм для меди VDE должна иметь $\rho = 0,01784$ при 20°. Удельный вес может быть принят 8,89. Образцовая отожженная медь по международным нормам (ETZ, 1914, стр. 366) имеет при 20° $\rho = 0,01724 = 1/58 \alpha = 0,00393 = 1/254,5$. Удельный вес 8,89. Незначительные примеси могут сильно менять приведенные значения.

При приблизительных подсчетах проводов можно для меди, принимая во внимание нагревание, принимать $\rho = 1:53$; в электрических машинах можно принимать $\rho = 1:50$ до 1:48. См. также X—Провода.

Таблица 4. Удельное сопротивление растворов при 18° l в см, q в см². Для 1° повышения температуры сопротивление уменьшается приблизительно на 2%, для употребляемой в аккумуляторах серной кислоты — на 1,4% (см. стр. 1209).

Вещество (частей на 100 частей раствора)	Молярный эквивалент	Поперечный диаметр	Углекислый натрий	Хлористый натрий	Натрамер	Серная кислота	Азотная кислота	Соляная кислота	Водный раствор едкого кали
	CuSO ₄	ZnSO ₄	Na ₂ CO ₃	NaCl	NH ₄ Cl	H ₂ SO ₄	HNO ₃	HCl	KOH
5	52,9	52,2	22,2	14,9	10,9	4,79	3,88	2,53	5,91
10	31,3	31,2	14,2	8,26	5,64	2,35	2,17	1,59	3,18
15	23,8	24,1	12,0	6,1	3,57	1,84	1,83	1,24	2,35
20	—	21,3	—	5,1	2,98	1,53	1,41	1,31	2,00
25	—	20,8	—	4,67	—	1,40	1,30	1,38	1,85
30	—	22,7	—	—	—	1,35	1,27	1,51	1,85
35	—	—	—	—	—	1,38	1,30	1,63	1,97
40	—	—	—	—	—	1,47	1,36	1,94	2,24
50	—	—	—	—	—	1,85	1,59	—	—
60	—	—	—	—	—	2,68	1,95	—	—
70	—	—	—	—	—	4,63	2,55	—	—
80	—	—	—	—	—	9,01	3,75	—	—
Минимум	—	20,8	—	—	—	1,35	1,27	1,3	1,84
Максимум	—	23,5%	—	—	—	30%	30%	18,3°	29%

* В физике удельное сопротивление дается большею частью для длины l в см и q в см² и этим получаются значения 10⁴ раз меньше по сравнению с вышеприведенными. См. также т. I, стр. 773, 774, табл. I. Отклонения в данных объясняются различной чистотой металлов.

¹⁾ По последним измерениям германского физико-технического института.

Таблица 5. Значения α в мг/кулон и в г/Ач.

Элемент	Атомность		1 ампер выделит		Элемент	Атомность		1 ампер выделит	
	Химический эквивалент ¹⁾	в 1 сек	в 1 ч	Химический эквивалент ¹⁾		в 1 сек	в 1 ч		
Алюминий	3	8,99	0,0056	0,3370	Никель	2	29,34	0,3041	1,085
Водород	1	1,008	0,01045	0,03762	"	3	15,50	0,2027	0,7297
Железо	2	27,92	0,3895	1,0425	Олово	2	59,95	0,6151	2,214
"	3	18,61	0,1931	0,6950	"	4	29,67	0,3075	1,107
Золото	3	65,7	0,6812	2,452	Платина	4	48,80	0,5057	1,820
Кальций	1	39,10	0,4052	1,459	Ртуть	1	200,6	2,0787	7,483
Кислород	2	8,00	0,0829	0,2985	"	2	100,3	1,0393	3,742
Магний	2	12,10	0,1260	0,4537	Свинец	2	103,6	1,0735	3,865
Медь	1	63,57	0,6588	2,372	Серебро	1	107,88	1,11800	4,025
"	2	31,78	0,3294	1,186	Хлор	1	35,46	0,3675	1,323
Натрий	1	23,00	0,2384	0,8581	Цинк	2	32,685	0,3387	1,219

деления напряжения для электрохимических процессов необходимо принимать во внимание сопротивление электролитической ванны (таблица 4, стр. 1189) и обратную электродвижущую силу (поляризация) E , соответствующую тому соединению, которое должно быть разложено. Для последней может быть принято приблизительное соотношение $E = W / 23065 V$, где W обозначает тепловой оттенок подлежащего разложению соединения. Вообще, тепловым оттенком называется то количество тепла в грамм-калориях, которое развивается (или поглощается) при химическом процессе, если количества тел (в г), участвующих в означенном процессе, равны их химическим эквивалентным весам. Напр., полное сгорание C в CO_2 (т.-е. 12 г C вместе с 32 г O) дает тепловой оттенок $93^{\circ} 60$ г-калорий.

Более точное определение электродвижущих сил по Норсту, см., напр., Герм. электротехн. календарь, 42 год, 1925 года, стр. 124. Изд. Ольденбурга.

д) Основные законы электромагнетизма.

Электромагнитная цепь. Магнитная цепь см. стр. 1186. В электротехнике приходится иметь дело почти исключительно с замкнутыми в железе магнитными цепями (напр., в трансформаторах) или замкнутыми магнитными цепями (напр., в электрических машинах). Магнитодвижущая сила возникает вследствие действия возбуждающих ампер-витков, осуществляемого либо специальной (возбудительной) обмоткой, либо основной (рабочей).

Соотношение между силой магнитного поля \mathcal{H} и охватывающим поле числом ампер-витков ωI , или числом ампер I , дается выражениями $\mathcal{H} = 0,4 \pi \omega I / l$, или $0,4 \pi I / l$ в гауссах, где $\omega I / l$ представляет число ампер-витков/см (AW/cm), в I/l — число ампер, см (A/cm)

¹⁾ По данным Германской комиссии по атомным весам 1925 г. См. т. I, стр. 757. Химический эквивалент = атомному весу : атомность.

Для упрощения принимается также $\mathcal{H}' = \omega I / l$ или $= I / l$, т.-е. сила магнитного поля измеряется часто в AW/cm или A/cm (ср. силу магнитного поля A/cm с силой электрического поля в V/cm стр. 1201, 1203). При этом $\mathcal{H}' = (1/0,4 \pi) \cdot \mathcal{H} = 0,8 \mathcal{H}$ в AW/cm ¹⁾, $\mathcal{H} = 1,25 \mathcal{H}'$ в гауссах.

Таблица 6. Таблица намагничивания для различных сортов железа²⁾.

\mathcal{H}	Число ампер витков в 1 см пути линий индукции			\mathcal{H}	Число ампер витков на 1 см пути линий индукции		\mathcal{H}	Число ампер витков на 1 см пути линий индукции	
	динамо-жесть	стальное лите	чугун		динамо-жесть	стальное лите		динамо-жесть	стальное лите
1 000	—	—	1,2	11 000	5,1	6,8	16 500	52	54
2 000	—	—	3,3	11 500	5,9	7,4	17 000	70	72
3 000	—	1,0	6,0	12 000	6,8	8,2	17 500	90	92
4 000	1,0	1,4	8,5	12 500	7,9	9,0	18 000	115	117
5 000	1,3	1,9	14	13 000	9,0	10,4	18 500	145	146
6 000	1,7	2,4	21	13 500	11	12,3	19 000	180	181
7 000	2,1	3,1	35	14 000	13	15,4	19 500	225	225
8 000	2,5	3,8	56	14 500	16	19,6	20 000	280	280
9 000	3,1	4,7	80	15 000	21	24	20 500	350	360
10 000	3,9	5,7	120	15 500	30	32	21 000	450	450
10 500	4,4	6,2	150	16 000	40	42	22 000	780	780

По отношению ко всей магнитной цепи имеем $0,4 \pi \omega I = 0,4 \pi \theta = \oint \mathcal{H} dl$, если \mathcal{H} выражено в гауссах, или $\theta = \oint \mathcal{H}' dl$, если \mathcal{H}' дано в AW/cm . θ представляет собою полное число ампервитков или ампер связанных с магнитной цепью. Интеграл с крутом (dl) обозначает, что он распространяется на всю замкнутую цепь; он называется линейным интегралом силы магнитного поля.

Если поток индукции $\Phi = \mathcal{H} q$, а также поперечное сечение q известны для всех частей магнитной цепи, то для каждого участка последней может быть определено, пользуясь кривыми намагничивания, или таблицами, соответствующее значение \mathcal{H}' в AW/cm или в A/cm и получена сумма $\sum \mathcal{H}' l = \theta$, т.-е. число возбуждающих ампервитков для магнитной цепи. Пример см. стр. 1220).

Магнитное поле электрических токов. Всякий ток, проходящий по проводнику, возбуждает вокруг него магнитное поле. Направление действия этого поля определяется правилом Ампера (стр. 1194). Величина поля в гауссах определяется следующими формулами (I в амп., длины в см).

1) Поле бесконечно короткого элемента проводника.

$$\text{В расстоянии } r: \quad d\mathcal{H} = \frac{0,1 I \sin \psi dl}{r^2};$$

¹⁾ Откуда могут быть определены ампер-витки для воздушных вазов электрических машин и аппаратов при заданной величине $\mathcal{H} = \mathcal{H}'$.

²⁾ Средние величины, смотря по качеству материалов могут иметь значительные отклонения.

(закон Био-Савара) dl —длина элемента проводника, ψ —угол между направлением тока и линией, соединяющей рассматриваемую точку с dl .

2) Поле кольцевого проводника. Для середины круга: $S = 0,2\pi I/r$; r —радиус круга.

3) Поле бесконечно длинного прямого проводника.

Вне проводника: $S = 0,2 I/r$.

Внутри проводника: $S = 0,2 I r/a^2$.

r —расстояние от оси проводника,

a —радиус проводника (в предположении, что ток распределяется равномерно по сечению проводника).

4) Поле кольцевой катушки

внутри катушки $S = 0,4\pi\omega I/l$;

или $S = 0,2\omega I/r$; вне $S = 0$.

r —радиус кольца; $l = 2\pi r$ средняя окружность кольца.

5) Поле цилиндрической катушки (соленоид) при длине цилиндра значительно превышающей его диаметр.

В середине катушки $S = 0,4\pi\omega I/l$.

Для взаимодействия между магнитным полем и проводником,

по которому проходит ток, имеем (приблизительно): $P = lI\mathfrak{B} 10^{-7}$ кг;

I в амперах, l в см, \mathfrak{B} в максвеллах/см². Направление действия см.

правило левой руки (стр. 1194). Для взаимодействия между двумя

проводниками, по которым проходит ток, имеем (приблизительно):

$P = 2(Ia) I_1 I_2 10^{-8}$ кг; I в амперах, l и a в одинаковых измерениях.

При токах, имеющих одинаковое направление, имеет место притяжение,

при противоположно-направленных—отталкивание.

Закон индукции. Изменение потока индукции, проходящего через

какой-либо виток, возбуждает (индуцирует) в нем электродвижущую силу,

моментное значение которой пропорционально скорости изменения потока

индукции $e = -\frac{d\Phi}{dt}$. При ω витках $e = -\omega \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8}$ В. Изменение

потока индукции в витке может быть вызвано тем, что изменяющийся

по времени поток индукции пересекает неподвижную обмотку (напр.

трансформатор), или тем, что обмотка имеет такое движение относительно

неизменяющегося по времени потока индукции, что она по временам

охватывает большее или меньшее число линий индукции (напр. в генераторах переменного тока, или динамомашинках).

В прямом проводнике длиной в l см, движущемся в равномерном

магнитном поле силой S перпендикулярно к линиям поля со скоростью

v см/сек, индуцируется ЭДС $e = S l v 10^{-8}$ В.

Физически возникновение ЭДС может быть выведено из указанного

выше закона индукции $e = -\frac{d\Phi}{dt}$. Закон направления ЭДС см. стр. 1194.

Если направление силовых линий составляет с проводником угол α , а

направление движения угол β с плоскостью, проходящей через проводник

и направление силовых линий, то

$$e = S l v \sin \alpha \cdot \sin \beta 10^{-8} \text{ вольт.}$$

Самондукция. Каждый проводник, по которому проходит ток, вызывает магнитное поле, меняющееся с изменением тока; благодаря этому в проводе индуцируется ЭДС, называемая ЭДС самондукции, моментное значение которой $e = -L \frac{di}{dt}$. Величина L носит название

коэффициента самондукции; последний зависит только от формы проводника. Самондукцией 1 генри обладает провод, в котором равномерное изменение тока на 1 А/сек вызывает напряжение 1 вольт.

Единицы измерений и размерность см. таблицу стр. 1183.

Значение коэффициента самондукции.

Соленоид $L = 4\pi\omega^2 q/l \cdot 10^{-9}$ генри; число витков ω , поверхность витка q см², длина катушки l в см, при чем l велико по сравнению с диаметром витков.

Два параллельных проводника:

$$L = l \left(0,5 + 2 \ln \frac{d-r}{r} \right) 10^{-9} \text{ генри.}$$

l —полная длина прямого и обратного провода, d —взаимное расстояние, r —радиус проводника. Действие самондукции L в цепи с сопротивлением R : при неизменяющейся ЭДС сила тока достигает величины $I = E/R$ лишь спустя время $t = \infty$; по истечении t секунд имеем:

$$I_t = E(1 - e^{-Rt/L}); R$$

При внезапном прекращении E находим, что сила тока I в течение t' секунд падает до

$$I_{t'} = Ee^{-Rt'/L}; R = Ee^{-t'/T}; R$$

$e = 2,718$ —основание натуральных логарифмов. $T = L/R$ называется постоянной времени.

При возрастании тока ЭДС самондукции ослабляет ЭДС основного тока; при ослаблении тока она действует, как дополнительная ЭДС. В обоих случаях она стремится сохранить существующие значения тока и потока индукции, т.-е. задерживает возрастание или уменьшение этих величин.

Самондукция в цепи переменного тока см. стр. 1197.

Взаимная индукция. Подобно тому, как изменение тока в проводнике вызывает в последнем ЭДС самондукции, в проводнике соседнем вызывается ЭДС взаимной индукции, моментное значение которой $e = M \frac{di}{dt}$.

Величина M носит название коэффициента взаимной индукции и зависит как от формы, так и от расположения проводников. M имеет одинаковое значение независимо от того, в каком из обоих проводников происходит изменение тока. Единицы измерения и размерности для M таковы же, как для L (см. стр. 1183).

[Значения M определяются опытами, в особых случаях также вычисляются: напр., для двух концентрических кольцевых катушек длиной l см, площадью сечения витков q см² и числом витков ω_1 и ω_2

$$M = 4\pi\omega_1\omega_2 q/l \cdot 10^{-9} \text{ генри.}$$

е) Правила для определения направления токов и действия магнитных и механических сил.

1. Вне магнита линии индукции проходят от северного полюса к южному. Установленное таким образом направление принято считать положительным. В магнитном поле магнитная стрелка устанавливается северным полюсом в положительном направлении линий индукции.

2. Вне источника тока ток проходит от положительного полюса (+ клемма) к отрицательному (- клемма). Установленное таким образом направление принято считать положительным.

В гальваническом элементе плюсом служит уголь или медь, минусом — цинк. В аккумуляторе плюс соединен с коричневой пластинкой, минус — с серой.

3. Полярность в электрических установках постоянного тока определяется погружением испытательных проволок в воду или прикладыванием смоченной полюсной бумаги. У отрицательного полюса происходит заметное выделение газа (водород) или окрашивание бумаги. Лакмусовая бумага у отрицательного полюса окрашивается в синий цвет, у положительного — в красный. В распределительных устройствах по нормам ВДБ отрицательные провода должны быть окрашены в синий цвет, положительные — в красный.

4. Правило Ампера для определения направления тока в проводах: если представить себя плывущим вдоль провода в направлении тока и смотрящим на магнитную стрелку, то под действием тока северный полюс будет отклоняться влево.

5. Правило винта для определения связи между направлениями тока и потока индукции: направление движения винта с правой резьбой (шторн) вращаемого в направлении тока, дает направление потока. Направление вращения винта с правой резьбой, передвигающегося в направлении потока, дает направление тока. При этом положительное направление потока соответствует положительному направлению тока.

6. Правило для определения ЭДС трансформатора (стр. 1192).

Уменьшение потока индуцирует положительную ЭДС, или при замкнутой цепи положительный ток, если за положительные значения приняты устанавливаемые правилом 5; увеличение потока индуцирует отрицательную ЭДС. Каждое изменение потока вызывает ток, который противодействует этому изменению.

7. Правило правой руки. Для определения направления индуцированной ЭДС (для генераторов). Первые три перпендикулярно друг к другу расставленные пальцы правой руки дают:

большой палец — направление движения проводника,
указательный — направление потока,
средний — направление индуцированной ЭДС.

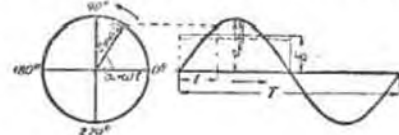
8. Правило левой руки для определения направления механического усилия (для моторов). Первые три, перпендикулярно друг к другу расставленные, пальца левой руки дают:

большой палец — направление механического усилия,
указательный палец — направление потока,
средний палец — направление тока.

9. Направление механического усилия в проводах, по которым проходит ток: токи одного направления притягиваются, токи противоположных направлений отталкиваются. Поле, образуемое замкнутым проводником, в присутствии другого поля имеет стремление повернуться и переместиться в такое положение, чтобы по направлению и положению притти в совпадение со вторым полем.

П) Основные законы для переменного тока.

Основные понятия. Понятие переменный ток охватывает как однофазный, так и многофазный ток. Трехфазный ток есть система 3-х токов. Кривая напряжения и силы переменного тока может быть в общем виде выражена в форме периодической функции при помощи ряда Фурье (том I, стр. 178). Хотя часто встречаются отклонения, но большую часть для расчетов принимается простейшая гармоническая функция — синусоидальная функция



Фиг. 1638 а.

Фиг. 1638 б.

$$e = e_{\max} \sin \alpha,$$

$$i = i_{\max} \sin (\alpha - \varphi).$$

Фиг. 1638 б представляет изменяющееся по этому закону, в зависимости от времени, переменное напряжение с максимальным значением e_{\max} .

При равномерном вращении радиуса величиной e_{\max} проекция его на y изменяется по тому же закону синуса (фиг. 1638а). Углу 0° соответствует время $t = 0$, углу α время $t = t$ и углу 360° время $t = T$. Это время T называется периодом или продолжительностью периода. Число периодов в сек. называется частотой f . Для продолжительности одного периода в сек., выраженной через f , имеем: $T = 1 : f$. Этому времени соответствует угол $360^\circ = 2\pi$, так что времени t в общем соответствует угол $\alpha = 2\pi ft = \omega t$; $\omega = 2\pi f$ называется угловой скоростью.

Действующая или эффективная сила тока производит при переменном токе то же тепловое и динамическое действие, как постоянный ток той же силы. Соответственно этому эффективное значение тока представляет не среднее арифметическое (алгебраическое) из мгновенных значений сил токов, а корень квадратный из среднего значения квадратов этих величин: $I = \sqrt{\int i^2 dt} : t$

и соответственно этому эффективное значение напряжения $E = \sqrt{\int e^2 dt} : t$. Если кривая тока, или напряжений, представляет синусоиду, эффективное значение тока и напряжений $I = i_{\max} : \sqrt{2} = 0,707 i_{\max}$ и соответ-

ственно $E = 0,707 e_{\max}$, в то время как средние арифметические пред-
ставляют $I_m = (2:\pi) i_{\max} = 0,637 i_{\max}$ и $E_m = (2:\pi) e_{\max} = 0,637 e_{\max}$.

[Кoeffициентом амплитуды называется отношение максимального
значения к эффективному; для синусоидального процесса коэффициент
амплитуды $= \sqrt{2}$.

Формфактором называется отношение эффективного значения
к среднему; для синусоидального процесса формфактор $= 1,11$. На фиг. 1638
э эффективное значение напряжения нанесено сплошной линией,
среднее значение мгновенных величин представлено пунктирной
линией. Тепловые измерительные приборы и динамометры, градуированные
для постоянного тока, дают при переменном токе его эффективные
значения; см. стр. 1339].

Основные уравнения для трансформаторов. Если
для катушки с w витками изменение потока индукции (стр. 1192) по
времени происходит по закону синуса, то изменение напряжения по вре-
мени следует тому же закону. Его эффективное значение

$$E = 4,44 f w \Phi_{\max} \cdot 10^{-8} \text{ вольт.}$$

Закон Ома для переменного тока. В цепи с самоиндукцией
и индуктивностью R моментальные значения тока и напряжения находятся в фазе ($\varphi = 0$), т. е. сила тока
и напряжение одновременно достигают максимальных, минимальных
и нулевых значений. Для такой цепи, как для моментных, так и для
эффективных значений, действительно соотношение $I = E:R$, т. е. при-
меняем тот же закон Ома, как для постоянного тока (стр. 1187).

[R представляет здесь не чисто омическое сопротивление R_g постоян-
ного тока, а помноженное омическое сопротивление переменного тока $R_{\text{эф}}$.
Можно принять $R_{\text{эф}} = \epsilon R_g$, где ϵ является коэффициентом, учитывающим
влияние вихревых токов. Переменное магнитное поле проходящего по
проводу переменного тока индуцирует в самом проводе местные ЭДС,
вызывающие элементарные вихревые токи. Последние вызывают
в проводе дополнительные потери на вихревые токи (токи
Фурко), т. е. влекут за собой кажущееся увеличение омического сопротив-
ления. При больших поперечных сечениях и проводах, проложенных
в навах машин, ϵ может достиг значительной величины. Мераю для
уменьшения ϵ являются применение в электрических машинах проводов,
свитых из отдельных проволок, или замена одного провода несколькими
появляющимися скрученными проводниками (стр. 1245)].

В цепи переменного тока, обладающей самоиндукцией
 L и омическим сопротивлением R , ток оказывается сдвинутым
по фазе по отношению к напряжению на угол φ . Вместо закона
Ома в том виде, как он имеет место для постоянного тока, для момент-
ных значений при неизменной величине L имеем: $e = iR + L \frac{di}{dt}$ и, со-
ответственно, для эффективных значений при синусоидальном процессе

$$I = E : \sqrt{\omega^2 L^2 + R^2} = E : \mathfrak{R}$$

(закон Ома для переменного тока); $\mathfrak{R} = \sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}$ назы-
вается кажущимся сопротивлением, ωL называется безваттным
сопротивлением (реактанс), а R — действующим сопротивле-
нием цепи (фиг. 1639). Если эти три сопро-
тивления умножить на I , то три стороны три-
угольника на фиг. 1639 представляют три напря-
жения: $\mathfrak{R}I$ — полное падение напряжения
в цепи, ωLI — индуктивное падение,
 RI — омическое. Полное падение напряжения
является при этом геометрической суммой на-
пряжений, вызываемых в цепи током I . Иначе
говоря, $\mathfrak{R}I$ представляет и напряжение у зажимов, уравновешиваю-
щее полное падение напряжения, ωLI — безваттное напряжение, а RI — дей-
ствующее напряжение, уравновешивающее соответственно индуктивное
и омическое падения напряжения. Напряжение у зажимов и полное па-
дение напряжения, безваттное напряжение и индуктивное падение напря-
жения, действующее напряжение и омическое падение напряжения равны
по числовой величине, но имеют противоположные знаки. Аналогичные
диаграммы напряжений см. фиг. 1641 и 1642.

Эти диаграммы напряжения указывают также изменение
напряжения по времени, т. е. его фазу (стр. 1195). Ток I и действую-
щее напряжение находятся в фазе, так как они одновременно достигают
максимальных значений. Ток и омическое падение напряжения проти-
воположны по фазе ¹⁾. Индуктивное падение напряжения отстает от
тока на 90° , так как оно достигает максимального положительного значе-
ния, когда изменение тока с его уменьшением оказывается максимальным

($e = -L \frac{di}{dt}$), т. е. при синусоидальном процессе, когда I уменьшается

проходит через 0. Безваттное напряжение, как слагающая напряжения
у зажимов, уравновешивающая индуктивное падение, опережает ток на
 90° . Само напряжение у зажимов опережает ток на угол φ . Этот угол φ ,
согласно сказанному выше, представляет угол, на который, по отношению
друг к другу, сдвинуты по фазе кривые напряжения и силы тока.

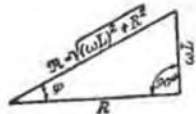
— Таким образом если $\epsilon = e_{\max} \sin \alpha$, то при отставании тока

$$i = i_{\max} \sin(\alpha - \varphi).$$

Если ток и напряжение сдвинуты по фазе, то действительная элек-
трическая мощность $N = EI \cos \varphi$ ватт; $I \cos \varphi$ называется
ваттной слагающей, $I \sin \varphi$ — безваттной; значение $\cos \varphi$ назы-
вается коэффициентом мощности, значение $\sin \varphi$ называется
коэффициентом безваттной мощности; $N_a = EI \sin \varphi$ вольт-
амперов называется кажущейся мощностью.

Ваттметр показывает непосредственно значение N . Если одновре-
менно с N измерить ток I и напряжение E , то $\cos \varphi = N : EI$ (стр. 1188).

¹⁾ Если $\omega LI = 0$, то полное падение напряжения равно омическому падению напряжения;
так как ток находится в фазе с напряжением у зажимов, то он противоположен по фазе
омическому падению напряжения.



Фиг. 1639.

Для контроля за $\cos \varphi$ в электрических установках имеются непосредственно указывающие $\cos \varphi$ приборы—фазометры (стр. 1053).

$\cos \varphi$ приборов, потребляющих электрическую энергию (моторы, трансформаторы), зависит от их нагрузки. С уменьшением их нагрузки коэффициент мощности, вообще говоря, ухудшается (стр. 1272).

$\cos \varphi$ отдельно работающего генератора определяется характером питаемой сети и зависит от числа, величины, конструкции и нагрузки присоединенных трансформаторов и моторов. Слабо нагруженные моторы могут уменьшить коэффициент мощности сети до 0,6—0,5 и ниже. При параллельной работе нескольких генераторов (стр. 1262) безваттный ток может по желанию распределяться между отдельными генераторами.

[Для генераторов и трансформаторов необходимо указывать допустимую нагрузку в kVA (киловольтамперы); для генераторов, кроме того, минимально допустимый $\cos \varphi$, так как нагревание их зависит от полного тока, т. е. от кажущейся мощности, а безваттный ток $I \sin \varphi$ действует размагничивающим образом, вызывая падение напряжения генератора.

Величина потребляемой генератором мощности N_m зависит от действительной мощности и при коэффициенте полезного действия η

$$N_m = EI \cos \varphi : 1000 \eta \text{ киловатт.}$$

В настоящее время имеется стремление улучшить коэффициент мощности сети, т. е. по возможности приблизить его к 1, чтобы разгрузить провода и генераторы от безваттного тока. Достигается это особыми генераторами безваттного тока (стр. 1260), отдающими в сеть безваттный, намагничивающий ток, или применением моторов с компенсированными фазами (стр. 1268), работающих с $\cos \varphi = 1$.

В цепи переменного тока с емкостью C (стр. 1201) зарядный ток опережает на 90° напряжение E_C , т. е. оказывается безваттным

током. Моментное его значение $i = C \frac{de}{dt}$; эффективное его значение при

синусоидальном напряжении $I = \omega C E_C$ ампер, если C представляет емкость в μF ; $1 : \omega C$ называется емкостным сопротивлением. Чистый зарядный ток имеет место при включении разомкнутого на одном конце кабеля; он может быть достаточно точно определен по вышеприведенной формуле. Величина его для кабелей, а также длинных воздушных линий при высоких напряжениях (например, при испытаниях линий), часто весьма значительна¹⁾. На конце разомкнутого кабеля, при известных условиях, может появиться повышение напряжения по сравнению с напряжением питания (эффект Ферранти).

Если в цепи переменного тока, кроме емкости C , имеется сопротивление R и самоиндукция L , то $I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + [\omega L - (1 : \omega C)]^2}}$ (общее выражение закона Ома для переменного тока);

¹⁾ В виду этого для испытания кабелей применяется постоянное напряжение, получаемое с помощью выпрямителей.

I в амперах, если L в генри и C в фарадах. Резонанс наступает, если $\omega L = 1 : \omega C$, или $1 : f = 2\pi \sqrt{LC}$. В этом случае ток достигает максимального значения $I = E : R$. Напряжения E_C и E_L у клемм емкости и самоиндукции могут при этом достигать очень высоких значений $E_C = I : \omega C = I \sqrt{L : C}$ и $E_L = \omega L I = I \sqrt{L : C}$; $\sqrt{L : C}$ называется колебательным сопротивлением цепи. В системе, содержащей емкость и самоиндукцию (колебательная цепь), могут возникать „собственные колебания“ с частотой $f = 1 : (2\pi \sqrt{LC})$. (Радиотехника, том IV). Сопротивление R в колебательной цепи вызывает затухание, т. е. более или менее быстрое прекращение колебаний и, если R очень велико, увеличение периода колебаний соответственно уменьшение частоты.

Перенапряжения, т. е. повышения напряжения опасные для изоляции проводов, машин и аппаратов, могут быть вызваны, кроме случая резонанса, также намеренными или случайными явлениями в сети: например, пробоем изоляции, короткими замыканиями, заземлениями и пр.

Блуждающие волны и скачки напряжения¹⁾. Электрические провода обладают на единицу длины определенной емкостью с и самоиндукцией l . $\sqrt{l : c}$ называется волновым сопротивлением провода. Волновое сопротивление провода составляет для воздушных проводов около 500 ом, для кабелей — около 50 ом. При внезапных изменениях состояния тока и напряжения эти изменения, носители называемые блуждающими волнами, распространяются по воздушным проводам со скоростью света, а по кабелю — приблизительно с половиной этой скорости. Ток i на каком-либо участке провода соответствует при этом напряжению $e = i \sqrt{l : c}$. Пространственное распределение тока и напряжения вдоль проводов совпадает, как и изменение по времени. Таким образом, существующее пространственное распределение тока и напряжения пробегает неизмененное вдоль провода, если последний во всех своих частях имеет одно и то же волновое сопротивление. При отражении у свободного конца провода напряжение возрастает до двойной его величины. Сопротивление различных частей пути тока вызывает затухание и понижает величину перенапряжения. Короткие замыкания и заземления в сетях, имеющих большое напряжение, могут вызвать громадное перенапряжение²⁾ (предохранение против перенапряжения в электрических установках см. стр. 1377). Скачками напряжения называются блуждающие волны с большой крутизной фронта, называемые большей частью искровыми разрядами. Полное повышение напряжения, или его падение, может при этом пространственно сосредоточиться на длине в несколько метров. Известны случаи крутизны от 10 до 30 kV/m . Крутизна импульсов при пробегании их по проводу, так же, как их высота, уменьшаются вследствие затухания. Если импульс достигает какой-либо обмотки (машин, трансформаторы и т. д.), то возможно, что полное напряжение распределяется на один или несколько витков, так что при перенапряжении особенно часто повреждаются первые витки обмоток. Поэтому они выполняются с усиленной изоляцией.

¹⁾ R. Rüdtenberg, Elektrische Schaltvorgänge, Берлин, 1923, Ю. Шпрингер.

²⁾ Leitsätze für den Schutz elektrischer Anlagen gegen Überspannungen ETZ 1925. S. 472.

Векторные диаграммы для переменного тока. Векторные диаграммы дают графическое изображение величины, изменяющейся во времени по закону синуса. Если вектор вращается с постоянной угловой скоростью вокруг определенного центра, то проекция вектора на ось изменяется по закону синуса (фиг. 1638а). Вектор описывает в течение одного периода угол 2π и при частоте f в одну секунду угол $\omega = 2\pi f$; ω называется — угловая скорость (стр. 1195). Направление вращение вектора принимается против часовой стрелки, так что при неподвижном векторе ось времени вращается по часовой стрелке. Фиг. 1638 показывает связь между графическим изображением напряжения, меняющегося по времени по закону синуса (рис. 1638б), и векторным изображением той же величины (фиг. 1638а), при чем в виде вектора нанесена амплитуда напряжений. Проекция амплитуды на вертикальную ось дает моментное значение. Моментные значения могут складываться арифметически, максимальные значения — только геометрически, т. е. принимая во внимание их фазу. Так как в большинстве случаев представляет интерес определение эффективных значений и соответствующих им сдвигов фаз, то длина вектора определяется эффективным значением, которое пропорционально амплитуде. Соотношение между токами и напряжениями в векторной диаграмме предполагает одинаковую частоту и чисто синусоидальный процесс. Влияние высших гармонических в токах и напряжениях не может быть учтено в диаграммах. С приложениями напряжениями и клемм P^1 могут быть сопоставлены по величине и направлению либо действительно возникающие в обмотках напряжения, либо слагающие, необходимые для их уравновешивания (ваттлан и безваттлан слагающие, см. фиг. 1642). В дальнейшем принято первое обозначение. При этом следует обратить внимание на следующее:

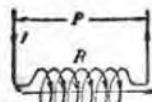
- 1) Два вектора находятся в одинаковой фазе, если они одновременно достигают своего максимального значения (стр. 1197). Ток (в машинах и трансформаторах намагничивающий ток) и поток находятся в фазе.
- 2) Напряжение, индуцированное в обмотке потоком, отстает от потока, а следовательно и от тока, на 90° (стр. 1197).
- 3) Омическое падение напряжения, как противодействующая электродвижущая сила, должно считаться отрицательным и находиться в сторону, противоположную направлению тока (стр. 1197).
- 4) В замкнутой цепи сумма всех напряжений равна 0.

Таким образом векторные диаграммы дроссельных катушек имеют вид по фиг. 1641 и 1642. P представляет напряжение у клемм, φ — угол сдвига фаз между током и напряжением у клемм, указывающий отставание тока. На фиг. 1641 IR и E представляют слагающие напряжения у клемм, необходимые для уравновешивания омического падения напряжения или, соответственно, напряжения индуцированного потоком].

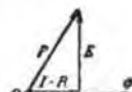
Многофазный и трехфазный ток. Наиболее важным из многофазных токов является трехфазный. Ток и напряжение в нем сдвинуты по отношению друг к другу на угол в 120° (фиг. 1643). Сумма моментных значений равна 0. В трехфазном токе три фазы являются всегда сопряженными, так что вместо шести проводов

¹⁾ Для напряжения у клемм применены буквы P вместо U , как принято международным соглашением.

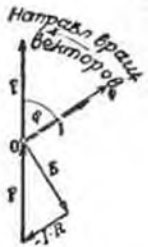
требуется только три или четыре. Сопряжение проводится либо в виде соединения треугольником ($\Sigma e = 0$) по фиг. 1644, либо в виде соединения звездой ($\Sigma i = 0$) по фиг. 1645. В четвертом проводе при соединении звездой, при равномерной нагрузке и синусоидальных токах не проходит никакого тока. Если ток обладает высшими гармоническими колебаниями, то нулевой провод, даже при равномерной нагрузке всех фаз, нагружен токами



Фиг. 1640.

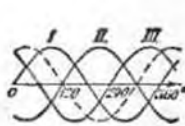


Фиг. 1641.

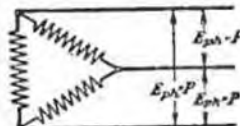


Фиг. 1642.

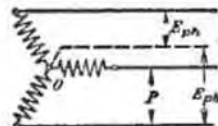
тройной, девятикратной и так далее частоты, которая без нулевого провода не могла бы проявиться. В распределительных сетях лампы включаются между нулевым проводом и внешним проводом, моторы — между тремя внешними проводами.



Фиг. 1643.



Фиг. 1644.



Фиг. 1645.

Если через E_{ph} обозначим фазовое напряжение, то при соединении треугольником напряжение у зажимов (без нагрузки) $P = E_{ph}$. При соединении звездой $P = E_{ph} \cdot \sqrt{3}$ (между фазовое напряжение). Если через I_{ph} обозначим ток в фазовой обмотке, то ток во внешних проводах при соединении треугольником равен $I = I_{ph} \sqrt{3}$, при соединении звездой $I = I_{ph}$. Мощность трехфазного тока $N = PI \sqrt{3} \cos \varphi$, если $\cos \varphi$ представляет угол сдвига фаз между током и напряжением.

г) Электрическое поле.

Конденсатор. Электрически заряженное тело вызывает в окружающем пространстве электрическое поле, в котором на воображаемой (в виде точки) заряд q действует сила $P = \mathcal{E}q$; \mathcal{E} называется силой электрического поля в рассматриваемой точке. От тела, заряженного количеством электричества $+Q$, к земле или к другому телу, заряженному количеством электричества $-Q$, идет $4\pi Q$ электрических линий поля. Плотность линий поля, т. е. число линий поля/см², является мерой силы электрического поля (сравни силу магнитного поля стр. 1184). Заряд Q пропорционален напряжению E между телом и землей, или же между двумя телами, так что $Q = CE$. Коэффициент пропорциональности C называется емкостью тела по отношению к земле, или емкостью конден-

сатора. При заряде емкости C через сопротивление R возникает зарядящий ток i . Изменение тока по времени дается выражением

$i = \frac{E}{R} e^{-t/T}$; $T = RC$ называется постоянной времени. В момент включения i имеет максимальное значение E/R . Ток i и напряжение у клемм сопротивления падают от максимального значения до 0. Напряжение конденсатора возрастает от нуля до E . Если к конденсатору приложено переменное напряжение, то $i = C \frac{de}{dt}$.

[Технической единицей емкости является фарад. Конденсатор обладает емкостью в один фарад, если равномерное изменение напряжения на 1 В/сек вызывает зарядный ток в 1 А. Емкость в цепях переменного тока (стр. 1128). Если в каком-либо конденсаторе заменить воздух каким-либо другим диэлектрическим веществом (изолятором, напр. стеклом, слюдой, маслом и так далее), то емкость повышается до $C_1 = \epsilon C$; ϵ называется диэлектрической постоянной соответствующего диэлектрика. Значение см. далее таблицу 8, стр. 1206]

Соединение конденсаторов. Общая емкость при параллельном соединении $C = C_1 + C_2 + \dots$; при последовательном соединении: $1/C = (1/C_1) + (1/C_2) + \dots$.

[Значения емкости и силы поля.

1) Две параллельные плоскости (пластинчатый конденсатор):

$$C = \frac{\epsilon O}{36 \pi a} 10^{-5} \mu F; \quad \mathcal{E}_{\max} = \mathcal{E} = \frac{E}{a}.$$

O — внешняя поверхность в см², a — расстояние между пластинами в см.

2) Две концентрические цилиндрические поверхности (цилиндрический конденсатор):

$$C = \frac{\epsilon l}{18 \ln(r_2/r_1)} 10^{-5} \mu F; \quad \mathcal{E}_{\max} = \frac{E}{r_1 \ln(r_2/r_1)}.$$

r_2 — радиус внешнего цилиндра в см,

r_1 — радиус внутреннего цилиндра в см,

l — длина цилиндра в см.

3) Цилиндр по отношению к параллельной плоскости (провод по отношению к земле):

$$C = \frac{\epsilon l}{18 \ln(2h/r)} 10^{-5} \mu F; \quad \mathcal{E}_{\max} = \frac{E}{r \ln[(x+1):(x-1)]};$$

$$x = \sqrt{1 + 2 \frac{r}{d}};$$

h — расстояние оси цилиндра от плоскости или оси провода от земли в см,

r — радиус цилиндра или провода в см принимается малым по отношению к h ,

d — расстояние (в свету) цилиндра от плоскости в см.

4) Два параллельно лежащие рядом друг с другом цилиндры с равными радиусами (двойной провод):

$$C = \frac{\epsilon l}{36 \ln(a/r)} 10^{-5} \mu F; \quad \mathcal{E}_{\max} = \frac{E}{2r} \frac{x}{\ln[(x+1):(x-1)]};$$

$$x = \sqrt{1 + 4 \frac{r}{d}};$$

a — расстояние между осями цилиндров; или осями проводов,

r — радиус цилиндра или провода в см,

d — расстояние (в свету) между цилиндрами в см

5) Три параллельные симметрично расположенные цилиндры с одинаковыми радиусами (симметричная трехфазная линия) по отношению к фазовому напряжению:

$$C = \frac{\epsilon l}{18 \ln(a/r)} 10^{-5} \mu F.$$

Применяемая в радиотехнике емкость в см может быть получена умножением на 900 000.

Электрическая крепость ¹⁾. Технической единицей силы электрического поля является В/см² (сравни единицу силы магнитного поля А см, стр. 1206). Пробивная сила поля дается часто в кВ/см, или в кВ/мм. Она определяется с помощью переменного тока в 50 периодов.

[Если в каком-либо диэлектрике сила поля усиливается до пробоя, то может быть получена пробивная сила поля \mathcal{E}_d , или пробивная крепость материала в В/см между электродами. Эффективные значения \mathcal{E}_d в кВ/мм см. таблицу 8, стр. 1206. Они зависят от продолжительности опыта, при кратковременном напряжении они выше. Простой подсчет силы поля, т.е. напряжения, возможен только в немногих случаях (см. выше). При практическом применении учета электрической крепости необходимо применять значительный коэффициент надежности. Напряжения испытания значительно превышают нормальное рабочее напряжение, на что следует обратить внимание. Следует также обращать большое внимание на зависимость пробивной крепости от температуры, так как при повышении температуры \mathcal{E}_d для многих материалов уменьшается. При испытаниях в пробой нужно выбирать такое расположение (искровые промежутки), при котором максимальное значение силы поля может быть подсчитано. Пластичатые искровые промежутки позволяют определить крепость твердых, жидких и газообразных тел. Цилиндрические и шаровые промежутки служат для испытания жидких и газообразных тел.

¹⁾ Petersen, Hochspannungstechnik, Stuttgart, 1911, Ferdinand Enke; Schweißger, Elektrische Festigkeit der Isoliermaterialien, 2. Aufl., Berlin, 1925, Jul. Springer.

²⁾ Только в равномерном поле сила электрического поля равна напряжению: на расстоянии.