

стекла по металлическим двойным открывающимся переплетам.

Если в проекте здания приняты другие типы заполнений световых проемов, то найденное по рис. 1—5 среднее значение КЕО следует умножать на поправочный коэффициент  $K_1$  согласно табл. 1.

В случаях, когда при верхнем освещении длина помещения меньше 72 м или высота более 10 м, найденное по рис. 1—5 значение КЕО следует умножать на поправочный коэффициент  $K_2$  при фонарях прямоугольных, трапециевидных и шед согласно табл. 2 и зенитных — согласно табл. 3.

Минимальное значение КЕО в помещении с боковым естественным освещением по заданным размерам светового проема и помещения определяется по рис. 6. Определение КЕО осуществляется в следующем порядке.

1. По заданному расстоянию от расчетной точки до стены с окнами  $l$  и высоте верха окна над условной рабочей поверхностью  $h_1$  определяют отношение  $l/h_1$ .

2. По величине отношения ширины окна  $a$  к его высоте  $h_1$  ( $a/h_1$ ) выбирают соответствующую кривую на рис. 6.

3. На кривой находят точку с абсциссой значения  $l/h_1$ .

4. По ординате найденной точки определяют минимальное значение КЕО.

На рис. 6 приведены минимальные значения КЕО при ленточном окне в наружной стене помещения. В случаях, когда имеется ряд отдельных окон, найденное значение КЕО умножают на коэффициент  $K_3$  согласно рис. 7.

\* \* \*

A simplified method is presented intended for the calculational checking of the natural lighting of industrial locations by using special diagrams. The latter are constructed to fit the most frequently encountered room and window arrangements.

$$T = 0,23 \\ R = 0,07$$

УДК 621.327

## РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ С ГАЗОВИХРЕВОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ РАЗРЯДА

А. Н. ПРОКОФЬЕВ, канд. техн. наук

НИИ проблем машиностроения при МВТУ им. Н. Э. Баумана

В последние годы во многих отраслях современной техники резко возрос интерес к сверхмощным источникам излучения. В связи с этим в нашей стране и за рубежом проводятся работы по созданию источников излучения с газовихревой стабилизацией разряда\* [Л. 1].

В отличие от традиционных запаянных газоразрядных источников излучения л. п. имеет негерметичную разрядную камеру с отверстиями для впуска и выброса рабочего тела — плазмообразующего газа (рис. 1). Поступающий в разрядную камеру холодный газ оттесняет высокотемпературный электродуговой разряд от стенки, предохраняя тем самым оболочку от воздействия кондуктивных тепловых потоков. Таким образом, в л. п. реализуется внешнее водяное и заградительное охлаждение, являющееся одной из разновидностей тепловой защиты массообменом [Л. 2]. Совокупность двух способов охлаждения надежно предохраняет оболочку от перегрева при весьма напряженных энергетических режимах работы л. п. По оценкам, содержащимся в [Л. 1], концентрация электрической мощности в излучателях данного типа может быть повышена в 20—40 раз по сравнению с концентрацией мощности газоразрядных трубчатых ламп с водяным охлаждением. Поэтому, несмотря на более низкую эффективность преобразования в л. п. электрической энергии в энергию излучения, этот тип излучателя считается наиболее перспективным по своим энергетическим возможностям.

В настоящей работе предлагается метод расчета радиационных, электрических, тепловых и газодинамических характеристик л. п. Необходимость разработки данного метода вызвана тем, что экспериментальные исследования л. п., проводимые в целях определения концентрации лучистой энергии, оценки влияния энергетических параметров на тепловой режим и работоспособность конструктивных элементов, выбора наиболее

подходящих рабочих тел и т. д., малоэффективны из-за большого числа факторов, определяющих рабочий процесс излучателя.

Определение рабочих характеристик л. п. связано непосредственно с определением характеристик электрической дуги, горящей в разрядной камере излучателя в закрученном потоке газа. При исследовании электродугового разряда используются следующие основные допущения: процесс стационарный, дуга optически тонкая и в ней имеет место локальное термодинамическое равновесие, течение газа осесимметричное и ламинарное. Кроме этих основных допущений, при описании рабочего процесса пренебрегается индуцированным электрическим полем, образованием объемного заряда, кинетической энергией потока, вязкой диссипацией энергии, ускорением газа от действия гравитационной силы. Эти допущения справедливы для большинства плазменных течений [Л. 3] и используются в любой модели электрической дуги в дозвуковом потоке газа. При этих допущениях электродуговой разряд описывается уравнениями механики сплошной среды и низкочастотными уравнениями

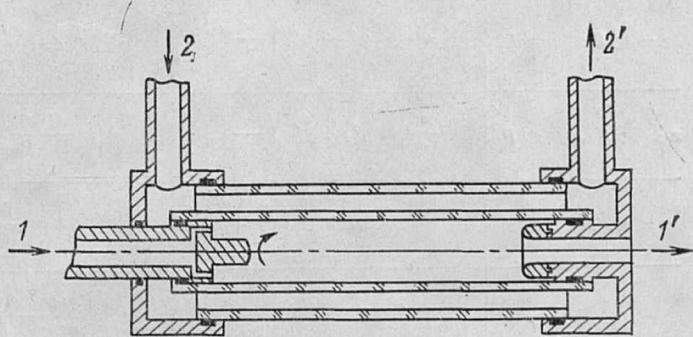


Рис. 1. Принципиальная схема источника излучения с газовихревой стабилизацией разряда.

1—1' — вход и выход газа; 2—2' — вход и выход охладителя.

\* В дальнейшем для излучателей данного типа используется сокращение л. п. (лампа продувочная).

ниями Максвелла, которые могут быть представлены в виде [Л. 4]:

$$r^2 \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\omega}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\omega}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[ r^3 \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\omega}{r} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^3 \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\omega}{r} \right) \right] = r^2 \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{u^2 + v^2}{2} \right) \frac{\partial \rho}{\partial r} - \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{u^2 + v^2}{2} \right) \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{\mu_e}{r^3} \frac{\partial \kappa^2}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \frac{\omega^2}{r} \right) + S_\omega \right]; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\rho r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\rho r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) = -\omega; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( r w \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( r w \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu r^3 \frac{\partial}{\partial z} \times \left( \frac{1}{r^2} r w \right) \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[ \mu r^3 \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r^2} r w \right) \right] = 0; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z} \left( h \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( h \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\lambda}{C_p} r \frac{\partial h}{\partial z} \right) - \\ - \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\lambda}{C_p} r \frac{\partial h}{\partial r} \right) = \frac{1}{\sigma r} \left[ \left( \frac{\partial \kappa}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{\partial \kappa}{\partial z} \right)^2 \right] - U_r, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\sigma r} \frac{\partial \kappa}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{\sigma r} \frac{\partial \kappa}{\partial r} \right) = 0, \quad (5)$$

где

$$ru = \frac{\partial \psi}{\partial r}, \quad \rho r v = -\frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad \omega = \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial r}, \quad (6)$$

$$r j_z = \frac{\partial \kappa}{\partial r}, \quad r j_r = -\frac{\partial \kappa}{\partial z}; \quad H_\varphi = \frac{\kappa}{r}. \quad (7)$$

$$\begin{aligned} S_\omega = 2 [\operatorname{grad} (\bar{i}_z \cdot \bar{V}) \operatorname{iso} (\bar{i}_z \operatorname{grad} \mu) + \operatorname{grad} (\bar{i}_r \bar{V}) \times \\ \times \operatorname{iso} (\bar{i}_r \operatorname{grad} \mu) - \operatorname{iso} (\operatorname{div} \bar{V}) \operatorname{grad} (\mu)]. \end{aligned} \quad (8)$$

В уравнениях  $\bar{i}_z, \bar{i}_r$  — единичные векторы в цилиндрической системе координат;  $\bar{V}\{u, v, w\}$  — скорость;  $\Psi$  — функция тока;  $\omega$  — напряженность вихря;  $h$  — энтальпия;  $j_z$  и  $j_r$  — компоненты плотности тока;  $H_\varphi$  — азимутальная составляющая напряженности собственного магнитного поля;  $\rho$  — плотность;  $\mu_e$  — магнитная проницаемость среды;  $\mu$  — динамическая вязкость;  $\lambda$  — теплопроводность;  $C_p$  — теплоемкость;  $\sigma$  — электропроводность;  $U$  — объемная плотность излучения. Свойства газа  $\rho, \mu, \lambda, C_p, \sigma, U$  считаются известными функциями энтальпии  $h$  и давления  $p$ .

Отличительной особенностью системы (1)–(5) является то, что все ее уравнения принадлежат к одному типу. Они являются нелинейными дифференциальными уравнениями эллиптического типа. Их общая форма записи имеет вид:

$$a \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( \varphi \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( \varphi \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[ b \frac{\partial}{\partial z} (c \varphi) \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[ b \frac{\partial}{\partial r} (c \varphi) \right] + dr = 0, \quad (9)$$

где  $\varphi$  — любая из переменных  $\omega/r, \psi, rw, h, \kappa; a, b, c, d$  — коэффициенты уравнения. Однотипность уравнений позволяет использовать при численном решении каждого из них один метод, а следовательно, и один алгоритм, что существенно упрощает реализацию метода расчета на ЭВМ.

Границные условия для переменных  $\omega/r, \psi, rw, h, \kappa$  определяются по распределению скорости, температуры и плотности тока на границах поверхностях [Л. 5] (рис. 2). Размер столба дуги в начальном сечении  $z=\delta_1 \approx 0,1$ –1 мм рассчитывается с помощью зависимости

$$R_1 = V \overline{I / (\pi j_{\text{II}})},$$

где  $j_{\text{II}}$  — экспериментально измеренная плотность тока на катоде [Л. 6]. Границные условия, замыкающие систему (1)–(5), приведены в табл. 1.

Для решения представленной краевой задачи используется конечно-разностный метод, описанный в [Л. 7]. Дифференциальное уравнение (9) интегро-интерполяционным методом сводится к системе конечно-

Таблица 1

Граница	Неизвестная функция				
	$\frac{\omega}{r}$	$\psi$	$rw$	$h$	$\kappa$
$r = 0, 0 \leq z \leq L$	$\frac{\omega}{r} \approx a_1 + b_1 r$	$\psi = 0$	$rw = 0$	$\frac{\partial h}{\partial r} = 0$	$\kappa = 0$
$z = \delta; 0 \leq r \leq R_1$	$\frac{\omega}{r} \approx q'_1 + q'_2 \left( \frac{\omega}{r} \right)^*$	$\psi = 0$	$rw = 0$	$h = f_1(r)$	$\kappa = \int_0^r j_z(0, r) r dr$
$z = \delta; R_1 \leq r \leq R$	$\frac{\omega}{r} \approx q'_1 + q'_2 \left( \frac{\omega}{r} \right)^*$	$\psi = \frac{G}{2\pi} \frac{r^2 - R^2}{R^2 - R_1^2}$	$rw = \Omega r^2$	$h = h_s$	$\kappa = \frac{I}{2\pi}$
$r = R, 0 \leq z \leq L$	$\omega/r \approx q_1 + q_2 \left( \frac{\omega}{r} \right)^*$	$\psi = \frac{G}{2\pi}$	$rw = 0$	$h = h_w$	$\kappa = \frac{I}{2\pi}$
$= L; 0 \leq r \leq R$	$\frac{\partial^2 \left( \frac{\omega}{r} \right)}{\partial z^2} = 0$	$\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0$	$\frac{\partial^2 (rw)}{\partial z^2} = 0$	$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$	$\frac{\partial^2 \kappa}{\partial z^2} = 0$

\* СМ, [Л. 5].

разностных уравнений:

$$\varphi_{i,j} = \frac{\Sigma [(A_{k,l} + C_{k,l}B_{k,l})\varphi_{k,l}] - d_{i,j}(r_j/4) \times \Sigma (r_{j+1} - r_{i-1})(z_{i+1} - z_{i-1})}{\Sigma (A_{k,l} + C_{i,j}B_{k,l})}, \quad (10)$$

где знак  $\Sigma$  обозначает сумму из четырех слагаемых, вычисленных в четырех узлах разностной сетки, соседних с центральным узлом  $(i, j)$  (рис. 2); индекс  $k, l$  принимает соответственно значения  $i-1, j; i+1, j; i, j-1; i, j+1$ .

$$A_{k,l} = 0,125a_{i,j}(F_{k,l} + |F_{k,l}|).$$

Выражения для  $F_{k,l}$  и  $B_{k,l}$  приведены в табл. 2. Для решения системы нелинейных алгебраических конечно-разностных уравнений (10) используется итерационный метод Зейделя.

По найденным неизвестным функциям  $\omega/r, \psi, rw, h$  и  $\chi$ , зависящим от координат  $z$  и  $r$ , рассчитываются основные параметры рабочего процесса л. п.: температура  $T(z, r)$ ; напряженность электрического поля  $E(z, r)$ , скорость газа  $V(z, r)$ . Температурное поле  $T(z, r)$ , а также распределение теплофизических характеристик  $\sigma(z, r), \lambda/C_p(z, r), U(z, r), \rho(z, r)$  однозначно определяются распределением энталпии  $h(z, r)$  по известным температурным зависимостям термодинамических и теплофизических свойств рабочего тела для заданного давления. Осевая и радиальная компоненты вектора скорости и напряженности электрического поля находятся путем численного дифференцирования переменных  $\psi$  и  $\chi$  в соответствии с (6) и (7). После определения основных параметров рабочего процесса вычисляются локальные и интегральные характеристики разряда и л. п. Ниже приводятся формулы для вычисления наиболее важных рабочих характеристик: средней напряженности электрического поля  $E(z)$ , напряжения  $U_{л.п.}$ , электрической мощности  $P_{л.п.}$ , мощности излучения разряда  $Q_r$  и л. п.  $Q_{л.п.}$

$$E(z) = I \left( 2\pi \int_0^R \sigma r dr \right)^{-1};$$

$$U_{л.п.} = \int_0^L E(z) dz + \Delta U;$$

$$(11)$$

$$P_{л.п.} = IU_{л.п.}; Q_r = 2\pi \int_0^L \int_0^R Ur dr dz;$$

$$Q_{л.п.} = Q_r \frac{L}{L+R} e^{-(\bar{k}_c h_1 + \bar{k}_0 \delta + \bar{k}_c h_2)},$$

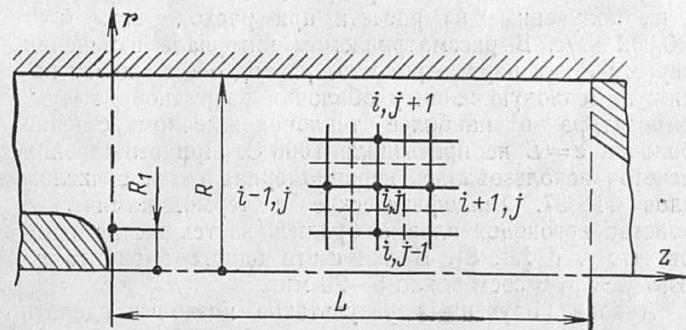


Рис. 2. Расчетная область и элемент разностной сетки.

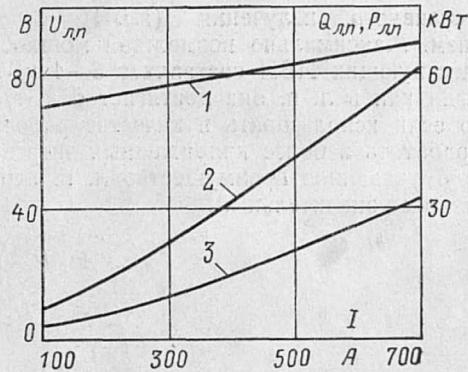


Рис. 3. Энергетические характеристики источника излучения с газовихревой стабилизацией разряда.  
1 —  $U_{л.п.}$ ; 2 —  $P_{л.п.}$ ; 3 —  $Q_{л.п.}$ .

где  $\Delta U$  — сумма падений напряжения на катоде и аноде;  $\bar{k}_c$  и  $\bar{k}_0$  — средненеинтегральные коэффициенты поглощения кварцевого стекла и охлаждающей жидкости;  $h_1$  и  $h_2$  — соответственно толщина разрядной оболочки и рубашки охлаждения;  $\delta$  — зазор в тракте охлаждения. При определении выходной мощности излучения л. п. учитывается, что часть излучения экранируется торцами разрядной камеры. Поглощение излучения в полупрозрачных элементах конструкции и охлаждающей жидкости учитывается в соответствии с законом Бугера.

Данный метод расчета оформлен в виде программы, написанной на языке Алгол-60, применительно к транслятору Алгол-ГДР ЭВМ БЭСМ-6.

С помощью данного метода было проведено расчетно-теоретическое исследование рабочих характеристик л. п. со следующими геометрическими размерами:  $L = 50$  мм;  $R = 7,5$  мм;  $h_1 = 1$  мм;  $\delta = 3$  мм;  $h_2 = 1,5$  мм. В качестве рабочего тела брался аргон, давление в разрядной камере принималось равным 1 МПа. На рис. 3

Таблица 2

$k, l$	$F_{k, l}$	$B_{k, l}$
$i-1, j$	$\psi_{i-1, j+1} + \psi_{i, j+1} - \psi_{i-1, j-1} - \psi_{i, j-1}$	$\frac{b_{i-1/2, j}}{2} \frac{r_{j+1} - r_{j-1}}{z_i - z_{i-1}}$
$i+1, j$	$\psi_{i+1, j-1} + \psi_{i, j-1} - \psi_{i+1, j+1} - \psi_{i, j+1}$	$\frac{b_{i+1/2, j}}{2} \frac{r_{j+1} - r_{j-1}}{z_{i+1} - z_i}$
$i, j-1$	$\psi_{i-1, j-1} + \psi_{i-1, j} - \psi_{i+1, j-1} - \psi_{i+1, j}$	$\frac{b_{i, j-1/2}}{2} \frac{z_{i+1} - z_{i-1}}{r_i - r_{i-1}}$
$i, j+1$	$\psi_{i+1, j+1} + \psi_{i+1, j} - \psi_{i-1, j+1} - \psi_{i-1, j}$	$\frac{b_{i, j+1/2}}{2} \frac{z_{i+1} - z_{i-1}}{r_{j+1} - r_j}$

приведены основные энергетические характеристики л. п., полученные из расчета при расходе газа  $G = 0,002$  кг/с. В рассматриваемом интервале изменения энергетических параметров этот расход обеспечивает надежную тепловую защиту оболочки разрядной камеры. Температура в наиболее теплонапряженном сечении оболочки  $z=L$  не превышала  $1000^\circ\text{C}$ . При выполнении расчетов использовалась неравномерная сетка с числом узлов  $11 \times 37$ . Теплофизические и термодинамические свойства аргоновой плазмы брались из тех же источников, что и в [Л. 8]. Время счета одного варианта на ЭВМ БЭСМ-6 составляло 5—20 мин.

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что несмотря на более низкий коэффициент полезного действия  $\eta_{\max} = Q_{\text{л.п.}}/P_{\text{л.п.}} \approx 50\%$  л. п. действительно дает возможность создавать радиационные потоки большей интенсивности, чем в трубчатых источниках высокointенсивного излучения (ИВИ) с водяным охлаждением. Максимально возможная мощность излучения существующих ИВИ составляет 3—4 кВт с 1 см длины, тогда как в л. п. она достигает 6 кВт/см. Очевидно, что если использовать в качестве рабочего тела ксенон и работать в более напряженных энергетических режимах, то указанное преимущество л. п. перед ИВИ будет еще более значительным.

$$T = 0,41 \\ P = 0,03$$

УДК 628.94.001.33

## О КЛАССИФИКАЦИИ И ТЕРМИНОЛОГИИ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ

Ю. Б. АЙЗЕНБЕРГ, канд. техн. наук

Всесоюзный светотехнический институт

В 1979 году вышел отраслевой стандарт «Электрические световые приборы и комплексы. Классификация» [Л. 1] и утвержден государственный стандарт «Приборы и определения» [Л. 2]. Оба документа разработаны ВНИСИ\*; их утверждению предшествовало широкое рассмотрение, в частности на страницах журнала «Светотехника» [Л. 3—6]. Важной отличительной особенностью выполненной работы является одновременная и параллельная проработка вопросов классификации и терминологии, а также впервые проведенная стандартизация классификации, пока на отраслевом уровне.

Не останавливаясь в настоящей статье на роли и актуальности классификации, рассмотренных в [Л. 3], а также значения и состояния терминологии [Л. 7], прокомментируем лишь то новое, что закреплено в [Л. 1, 2]. Необходимо при этом отметить важность замечаний и предложений, сделанных в ходе дискуссии В. В. Борминым [Л. 5], Г. А. Федотовым [Л. 6] и Ю. М. Галкиным.

В основу новых документов положены определения терминов «световой прибор» и «световой комплекс» (последний, кстати, введен и определен впервые). В соответствии с новым государственным стандартом «Физическая оптика. Термины и определения» [Л. 7], закрепляющим под термином «свет» понятие об оптическом излучении в видимом участке спектра, «световым прибором» названо устройство, содержащее одну или несколько ламп и светотехническую арматуру, перераспределяющее свет лампы (ламп) и (или) преобразующее его структуру и предназначенное для освещения или сигнализации. Под «световым комплексом» предла-

\* \* \*

A method and results of design and theoretical studies are presented. The method is based on a numerical solution of a system of electric-arc discharge equations. A possibility is noted of a significant increase in the radiant energy by using gas-whirl cooling in discharge sources.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маршак И. С. Современные высоконтенсивные источники света. — Итоги науки и техники. Светотехника и инфракрасная техника, т. 4. М.: ВИНИТИ, 1976.
2. Полежаев Ю. В., Юрьевич Ф. Б. Тепловая защита. М.: Энергия, 1976.
3. Жуков М. Ф. и др. Прикладная динамика термической плазмы. Новосибирск: Наука, 1975.
4. Прокофьев А. Н., Синярев Г. Б. Численное исследование электрической дуги, обдуваемой потоком газа. — В сб. «Материалы VII Всесоюзной конференции по генераторам низкотемпературной плазмы», т. II. Алма-Ата: 1977.
5. Прокофьев А. Н. Исследование параметров электрической дуги. — Известия вузов, серия «Машиностроение», 1977, № 2.
6. Пустогаров А. В. Экспериментальное исследование тугоплавких катодов плазмотронов. — В сб. «Экспериментальное исследование плазмотронов». Новосибирск: Наука, 1977.
7. Госмен А. Д. и др. Численные методы исследования течения вязкой жидкости. М.: Мир, 1972.
8. Прокофьев А. Н. Численный метод расчета параметров электрической дуги. — Известия вузов. серия «Машиностроение», 1977, № 3.

гаются понимать устройство, состоящее из набора световых приборов, отдельных светоперераспределяющих или светопреобразующих элементов, конструктивных, электротехнических и других деталей, сборочных единиц или блоков, собираемое у потребителя, выполняющее свои функции только в собранном виде и предназначеннное для освещения или сигнализации. Таким образом, как видно из этих определений, приборы, предназначенные для использования ультрафиолетового и инфракрасного излучения для целей облучения, в группу световых приборов не вошли.

Классификация световых приборов (СП) осуществляется по главным и дополнительным признакам. К первым из них отнесены: характер светораспределения, основная светотехническая функция, условия эксплуатации и основное назначение.

По характеру светораспределения все СП принципиально подразделяются на светильники, прожекторы и проекторы. По основной светотехнической функции СП разделены на осветительные и светосигнальные приборы (СП могут совмещать обе эти функции); по условиям эксплуатации — на СП для внутреннего освещения, наружного освещения и для экстремальных сред. По основному назначению СП классифицируются в соответствии с табл. 1.

Дополнительными признаками классификации СП являются:

вид лампы (лампы накаливания, газоразрядные лампы, лампы смешанного света, радиоизотопные и электролюминесцентные источники света, электрические дуговые угольные лампы);

конкретная светотехническая функция (табл. 2 для осветительных приборов);

форма фотометрического тела (симметричные, круглосимметричные и несимметричные СП);

\* В работе над стандартами принимал участие А. В. Очжин.