

УДК 681.518

А.В. Шульга, Д.Н. Нелюба, А.И. Данник

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Полтава

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗАЖИГАНИЯ МЕТАЛЛОГАЛОГЕННЫХ ЛАМП ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗРЯДА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ В СРЕДСТВАХ НАВИГАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

*В работе рассматриваются результаты аналитических и экспериментальных исследований процессов зажигания (пуска) металлогалогенных ламп в зависимости от напряжения формирования разряда в излучающей горелке, а также обеспечение надежной работы ламп высокой интенсивности в системах навигации.*

**Ключевые слова:** разряд, электрод, горелка, вольт-амперная характеристика, напряжение формирования, зажигание.

### Введение

Развитие современных средств навигации, которые работают в оптическом диапазоне излучения (760...380 нм) требует разработки и внедрения источников света с высокими цветовыми характеристиками и эксплуатационными параметрами.

Особое внимание уделяется надежности работы источников излучения в пусковых режимах в различных условиях эксплуатации, что позволяет их использовать в различных приборах и системах навигации.

Важным является спектр излучения источника навигационного устройства, т.к. длину волны  $\lambda$  луча определяет свойство среды его использования (воздушное пространство, вода, вакуум и т.д.). Спектральные характеристики источника излучения высокой интенсивности определяют галоидные добавки, вводимые в разрядные горелки. Соединение данных добавок в определенной пропорции позволяет получить практически любой спектр видимого диапазона.

Однако, введение галоидных добавок в ртутный разряд высокого давления приводит к повышению пускового (стартового) напряжения газоразрядных источников света (ГРИС), что усложняет пуско-регулирующую аппаратуру, а также схемы управления зажиганием, работой излучателей и навигационных приборов в целом.

Поэтому, при исследовании и конструировании ГРИС особое внимание уделяется проблеме пускового режима ламп. Пуск (зажигание) зависит от различных параметров: диаметра и длины разрядной трубки, рода наполняющего газа, температуры окружающей среды. В статье поставлена задача: определить зависимость пускового напряжения от напряжения формирования основного разряда в разрядной горелке  $U_3/U_\phi$ .

### Основной материал исследования

Имея экспериментальные данные зависимости напряжения зажигания от геометрических размеров кварцевой горелки МГЛ, мы поставили перед собой задачу в настоящей работе: исследовать взаимосвязь между напряжением формирования разряда и напряжением зажигания с целью применения данной функциональной зависимости  $U_3 = f(U_\phi)$  в расчетах МГЛ [1]. Напряжение формирования разряда находим из (1) для различных значений диаметра и давления аргона в горелке, т.к.

$$U_\phi = f(R, p);$$

$$U_\phi = 1,33 \cdot K^4 + \epsilon_0^4 \cdot C_1^4 \cdot p^4 \cdot j_0^4 \quad (1)$$

где  $K = 2 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  – коэффициент подвижности ионов;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  – диэлектрическая постоянная газа;  $C$  – коэффициент, определяющий род газовой среды и зависящий от диаметра горелки;  $j_0 = 10 \text{ А/м}^2$ ;  $p$  – давление аргона в горелке.

Для определения напряжения зажигания через значение напряжения формирования разряда предварительно вычислим коэффициенты пропорциональности  $K = \frac{U_3}{U_\phi}$  для различных давлений аргона и радиуса в горелке. Значения  $R_r$ ,  $p$  и  $U_3$  получены нами из экспериментальных данных,  $U_\phi$  рассчитываем по формуле (1). Данные расчетов записываем в таблицы.

Коэффициенты  $K$  для различных значений  $U_\phi$  и  $U_3$  определяем путем математической обработки статистических данных [2]:

$$K_1 = 5,5 \pm 0,3; K_2 = 3,1 \pm 0,1; K_3 = 2,3 \pm 0,1; K_4 = 1,6 \pm 0,3. \quad (2)$$

При нормальном распределении ошибки  $X-X_0$  наблюдение также распределено по нормальному закону

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(X-X_0)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (3)$$

с математическим ожиданием, равным истинному значению  $X_0$  наблюдаемой величины (в нашем случае коэффициента  $K$ ), и дисперсией  $\sigma^2$ . Это означает, что отдельное наблюдение представляет собой элемент из бесконечного множества наблюдений, которые могут быть выполнены в одинаковых условиях со средней ошибкой  $\sigma$ . Это бесконечное множество возможных наблюдений образует нормальную генеральную совокупность, среднее арифметическое которой равно математическому ожиданию, т.е. величине  $X_0$ .

Математическое ожидание вычисляем как

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i, \quad (4)$$

где  $n$  – количество наблюдений;  $X_i$  – текущее значение  $X$ .

Дисперсию  $S$  (выборочный стандарт) определяем по формуле Бесселя:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}. \quad (5)$$

Получим оценку среднего квадратичного отклонения величины  $X_{cp}$

$$S_{cp} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Полученный результат записывается сокращенно

$$X_0 = X_{cp} \pm S_{cp}. \quad (7)$$

Коэффициент  $K$  определяется по формуле:

$$\begin{aligned} K &= a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3; \\ K_2 &= a_1 \cdot p_1 + a_2 \cdot p_1^2 + a_3 \cdot p_1^3; \\ K_3 &= a_1 \cdot p_2 + a_2 \cdot p_2^2 + a_3 \cdot p_2^3; \\ K_4 &= a_1 \cdot p_3 + a_2 \cdot p_3^2 + a_3 \cdot p_3^3. \end{aligned} \quad (8)$$

Имея значения  $K$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  и  $p_3$  решаем данную систему с тремя неизвестными и находим коэффициенты  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ :  $a_1 = 0,972 \cdot 10^{-2}$ ,  $a_2 = 0,506 \cdot 10^{-5}$ ,  $a_3 = 0,694 \cdot 10^{-9}$ .

Подставим коэффициенты  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  формулу (8) и получим выражение для расчета коэффициента пропорциональности

$$K = 0,972 \cdot 10^{-2} \cdot p - 0,506 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,694 \cdot 10^{-9}. \quad (9)$$

В результате имеем зависимость:

$$U_3 = k \cdot U_\phi = f(p) \cdot U_\phi. \quad (10)$$

Для проверки правильности проведенных расчетов вычислим  $U_3$  для значений давлений аргона в горелке, соответствующих давлениям в экспериментальных исследованиях с последующим построением графиков расчетных и экспериментальных зависимостей.

Таблица 1

Значения  $R$ ,  $U_\phi$ ,  $U_3$  и  $K_1$  для горелок с давлением аргона  $p_1 = 1330$  Па и  $t = 20$  °С

$R_\Gamma$ , мм	$U_\phi$ , В	$U_3$ , В	$K_1 = U_3 / U_\phi$
5,5	31,6	192 ± 6	6,07
10	30,7	162 ± 8	5,3
13	29,8	167 ± 3	5,6
14,5	29,4	164 ± 4	5,5

Таблица 2

Значения  $R$ ,  $U_\phi$ ,  $U_3$  и  $K_2$  для горелок с давлением аргона  $p_2 = 2660$  Па и  $t = 20$  °С

$R_\Gamma$ , мм	$U_\phi$ , В	$U_3$ , В	$K_2 = U_3 / U_\phi$
5,5	53,1	170 ± 9	3,2
10	51,6	151 ± 3	2,92
13	50,1	164 ± 2	3,3
14,5	49,5	150 ± 2	3

Таблица 3

Значения  $R$ ,  $U_\phi$ ,  $U_3$  и  $K_3$  для горелок с давлением аргона  $p_3 = 3990$  Па и  $t = 20$  °С

$R_\Gamma$ , мм	$U_\phi$ , В	$U_3$ , В	$K_3 = U_3 / U_\phi$
5,5	72	164 ± 4	2,28
10	70	154 ± 9	2,2
13	68	168 ± 8	2,5
14,5	67	150 ± 2	2,2

Таблица 4

Значения  $R$ ,  $U_\phi$ ,  $U_3$  и  $K_4$  для горелок с давлением аргона  $p_4 = 6650$  Па и  $t = 20$  °С

$R_\Gamma$ , мм	$U_\phi$ , В	$U_3$ , В	$K_4 = U_3 / U_\phi$
5,5	105,5	167 ± 9	1,58
10	102,6	167 ± 2	1,63
13	99,7	168 ± 2	1,68
14,5	98,3	158 ± 4	1,6

Результаты вычислений записываем в табл. 5 –8. Из построенных графиков зависимости  $U_3 = f(U_\phi)$  по расчетным данным (рис. 1, 2) видно, что расчетные и экспериментальные значения  $U_3$  в исследуемых точках совпадают, что говорит о том, что зависимость  $U_3 = f(U_\phi)$  предложенная нами для расчета  $U_\phi$  по имеющимся данным выбрана правильно, поэтому в будущем при любых расчетах не нужно будет находить  $U_3$  – достаточно иметь  $U_\phi$ .

Таблица 5

Значения  $K$ ,  $U_\phi$  и расчетного  $U_3$  при  $R_\Gamma = 5,5$  мм

$p$ , Па	1330	1995	2660	3325	3390
$K$	5,59 ± 0,3	4,7 ± 0,2	3,1 ± 0,1	2,52 ± 0,1	2,31 ± 0,1
$U_\phi$ , В	31,5	42,7	53,07	62,74	71,94
$U_3$ , В	176 ± 9	203 ± 8	166 ± 5	158 ± 6	166 ± 7

Таблица 6

Значения  $K$ ,  $U_\phi$  и расчетного  $U_3$  при  $R_\Gamma = 10$  мм

$p$ , Па	1330	1995	2660	3325	3390
$K$	5,6 ± 0,3	4,7 ± 0,2	3,1 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,4 ± 0,1
$U_\phi$ , В	30,7	41,6	51,7	61,1	70,2
$U_3$ , В	171 ± 9	198 ± 8	162 ± 5	154 ± 6	162 ± 7

Таблиця 7

Значення  $K$ ,  $U_{\phi}$  і расчетного  $U_3$  при  $R_r = 13$  мм

$p$ , Па	1330	1995	2660	3325	3390
$K$	$5,6 \pm 0,3$	$4,7 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,1$	$2,3 \pm 0,1$
$U_{\phi}$ , В	29,8	40,4	50,2	59,3	68
$U_3$ , В	$166 \pm 9$	$192 \pm 8$	$157 \pm 5$	$149 \pm 6$	$157 \pm 7$

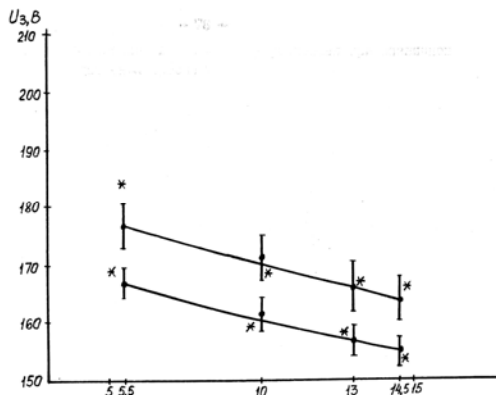


Рис. 1. Расчетная зависимость  $U_3 = f(R)$ :  
1 – давление аргона  $p = 1330$  Па, 2 –  $p = 2660$  Па,  
\* – экспериментальные значения  $U_3$

Таблиця 8

Значення  $K$ ,  $U_{\phi}$  і расчетного  $U_3$  при  $R_r = 14,5$  мм

$p$ , Па	1330	1995	2660	3325	3390
$K$	$5,6 \pm 0,3$	$4,7 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,1$	$2,3 \pm 0,1$
$U_{\phi}$ , В	29,4	39,8	49,5	58,5	67,1
$U_3$ , В	$164 \pm 9$	$189 \pm 8$	$155 \pm 5$	$147 \pm 6$	$150 \pm 7$

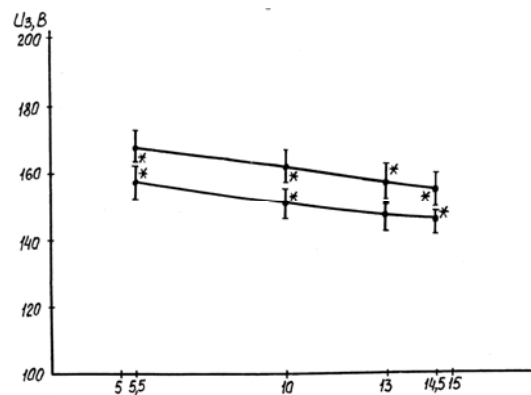


Рис. 2. Расчетная зависимость  $U_3 = f(R)$ :  
1 – давление аргона  $p = 3990$  Па,  
2 –  $p = 3325$  Па

### Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований можно сделать выводы:

1. Определено, что напряжение зажигания МГЛ, как и напряжение формирования разряда, зависит от параметров горелки.
2. Получена зависимость напряжения зажигания от давления инертного газа (аргона). Оптимальное давление находится в пределах 15...30 мм.рт.ст.
3. Показано, что с повышением температуры окружающей среды зажигание МГЛ ухудшается, а при температурах выше  $+40...50$  °С лампы могут вообще не загораться.
4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований имеют практическое значение при конструировании источников света высокого давления.

### Список литературы

1. Атаев А.Е. Зажигание ртутных разрядных источников излучения высокого давления / А.Е. Атаев. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 169 с.
2. Назарова Т.Б. Исследование процессов возникновения разряда в газоразрядных ртутных приборах с металлогалогенными добавками с целью оптимизации их конструкции: дис... канд. техн. наук:05.12.10 / Назарова Татьяна Борисовна. – М., 1983 – 205 с.

Поступила в редколлегию 14.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ГП «Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления», Киев.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗАПАЛЮВАННЯ МЕТАЛОГАЛОГЕННИХ ЛАМП ВІД НАПРУГИ ФОРМУВАННЯ РОЗРЯДУ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ У ЗАСОБАХ НАВІГАЦІЇ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ

О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, О.І. Данник

У роботі розглядаються результати аналітичних і експериментальних досліджень процесів запалювання (пуску) металогалогенних ламп у залежності від напруги формування розряду в випромінюючому пальнику, а також забезпечення надійної роботи ламп високої інтенсивності в системах навігації.

**Ключові слова:** розряд, електрод, пальник, вольт-амперна характеристика, напруга формування, запалювання.

### THE IGNITION ADICTION RESEARCH OF METAL-HALIDE LAMPS ON THE VOLTAGE OF DISCHARGE TO OPTIMIZE STARTUP REGIME MEANS OF NAVIGATION OPTICAL RANGE

O.V. Shulga, D.M. Nelyuba, O.I. Dannik

In this work the results of analytical and experimental researches of the ignition (start) metal-halide lamps depending on the voltage discharge in the formation of radiating burner and to ensure reliable work of high-intensity lamp in navigation.

**Keywords:** discharge, electrode, torch, current-voltage characteristics, voltage formation, ignition.