

4. Назаренко, А. И. Эволюция и устойчивость спутниковых систем / А. И. Назаренко, Б. С. Скребушевский.— М.: Машиностроение.— 1979.— 445 с.

5. Можжев, Г. В. Синтез орбитальных структур спутниковых систем / Г. В. Можжев.— М.: Машиностроение, 1989.— 303 с.

6. Горбулин, В. И. Новый способ оптимизации орбитального построения глобальных спутниковых систем / В. И. Горбулин // *Вопр. электромеханики*.— 2012.— Т. 128.

7. ECSS, 2000. Space engineering. Space environment. European Cooperation for Space Standardization.— ESA-ESTEC Publications Division, ECSS-E-10-04A.

**Рецензент:** доктор техн. наук, профессор Е. С. Козелкова, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

О. С. Албул, М. Ф. Бабаков

### АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОМИЛОК ВИВЕДЕННЯ ТА ЗБУРЮВАЛЬНИХ ФАКТОРІВ НА ЗМІНУ ОРБІТАЛЬНОЇ ПОБУДОВИ БАГАТОСУПУТНИКОВИХ НИЗЬКООРБІТАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розглядається вплив негативних факторів на деградацію орбітального угруповання багатосупутникових низькоорбітальних систем. Наводяться розрахункові співвідношення як для існуючих орбітальних структур, так і для перспективних варіантів побудови. У результаті визначено умови збереження орбітальних властивостей мережі.

**Ключові слова:** багатосупутникова низькоорбітальна система; космічний апарат; орбітальна структура; збурювальні фактори.

A. S. Albul, M. F. Babakov

### ANALYSIS OF INSERTION ERRORS AND PERTURBATION FACTORS ON THE VARIATION OF THE ORBITAL STRUCTURE OF LEO MULTI-SATELLITE SYSTEMS

The influence of negative factors on the degradation of the orbital constellation of low-orbit satellite systems are considered. The ratios for existing and experimental orbital structures are provided. As a result, the conditions of orbital properties preservation of the network are determined.

**Keywords:** LEO multi-satellite system; spacecraft; orbital structure; perturbation factors.

УДК 681.518.2

А. В. ШУЛЬГА, канд. техн. наук, доцент;

Д. Н. НЕЛЮБА, В. А. СОКИРИНА,

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ РАЗРЯДНОЙ ГОРЕЛКИ МЕТАЛЛОГАЛОГЕННЫХ ЛАМП КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Рассматриваются методика и результаты экспериментальных исследований процесса старта применяемых в приборах навигации источников излучения высокой интенсивности с галоидными добавками и влияния на этот процесс геометрических размеров используемой разрядной горелки.

Предлагаются варианты повышения надежности старта указанных источников излучения, обеспечивающие значительное улучшение световых и эксплуатационных характеристик приборов навигации при номинальных напряжениях.

**Ключевые слова:** аргон; разряд; основной электрод; электрод поджигающий; горелка; трехэлектродная конструкция; иодид металла; зажигание; электролиз.

#### Введение

При использовании металлогалогенных ламп (МГЛ) высокого давления в качестве источников излучения в навигационных системах оптического диапазона основное внимание уделяется надежности функционирования такой лампы в течение всего срока службы.

Основная проблема при эксплуатации указанных источников излучения возникает в процессе пуска. Он затруднен из-за наличия в разрядном промежутке излучающей горелки паров галоидных соединений (иодиды щелочных или редкоземельных металлов), что в момент зажигания (при

управлении пуском лампы) приводит к необходимости применять импульсы высокого напряжения. Решение этой проблемы возможно двумя способами: применением специальных импульсных зажигающих устройств (ИЗУ) и разработкой конструкций трехэлектродных разрядных горелок, которые позволяют осуществлять пуск источников излучения высокой интенсивности без ИЗУ.

**Цель статьи** — исследовать варианты снижения пускового напряжения МГЛ для обеспечения надежного зажигания и работы ламп от сети 220 и 380 В без зажигающих устройств и специальных схем включения.

### Цель исследований

Задачей экспериментальных исследований явилось определение зависимости напряжения  $U_3$  зажигания (пускового напряжения) МГЛ от параметров разрядной горелки, используемой в приборах навигации на основе МГЛ. Знание такой зависимости позволяет повышать надежность и долговечность работы указанных приборов.

### Методика проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования зависимости напряжения  $U_3$  зажигания МГЛ от таких параметров, как давление  $P$  наполняющего газа и температура  $t$  окружающей среды, были проведены на кварцевых горелках, изготовленных по одной и той же технологии производства МГЛ, но различающихся некоторой особенностью конструкции. Влияние этой особенности, прежде всего геометрических размеров горелки, на зажигание ламп подлежало исследованию.

Зависимости напряжения  $U_3$  зажигания МГЛ от перечисленных параметров снимались непосредственно на откачном посту, что обеспечивало точность измеряемых значений  $U_3 = f(P)$  и  $U_3 = f(t)$ .

Поместив на откачной позиции поста горелку с определенным диаметром  $D_r$ , исследуем зависимости напряжения  $U_3$  зажигания от давления  $P$  газа и температуры  $t$  окружающей среды. При этом остаются неизменными такие параметры горелки, как ее длина  $L_r$ , конструкция и качество обработки электродов, расстояние между основным и вспомогательным электродами, качество обработки кварцевого стекла и пр. Все это свидетельствует о достаточно высокой точности эксперимента. Технологический процесс откачки горелок МГЛ, применяемый при экспериментальных исследованиях, отвечает условиям промышленного производства.

Для проведения исследований зависимости напряжения  $U_3$  зажигания трехэлектродных МГЛ типа ДРИ400/380 от давления  $P_{ар}$  пускового газа (аргона) и температуры  $t$  окружающей среды были изготовлены кварцевые горелки длиной  $L_r = 25; 38; 53; 60; 65; 90$  мм и диаметром  $D_r = 20$  мм.

Для каждого типоразмера изготавливалось несколько горелок с целью получения набора статистических данных.

Горелки одного типоразмера напайвались на откачные «рожки» дозировочно-откачной гребенки откачного поста и откачивались согласно технологии изготовления горелок типа ДРИ400/380. По окончании процесса откачки, когда горелки в производственных условиях подлежат отпайке, тоководы горелки были подключены к электрической схеме измерения напряжения зажигания. Питание на электроды горелки подавалось

плавной регулировкой постоянного напряжения через 10 В с интервалом времени 1 мин. После зажигания дугового разряда питание отключалось, горелка остывала в течение 10-15 мин. Далее осуществлялись повторные измерения, исключая ошибку и позволяющие получить усредненный результат. Ртуть поступала в горелку с избытком, поскольку введение в режим горелки не предусматривалось, а галогениды дозировались согласно требованиям технологии.

Исследования зависимости  $U_3 = f(P)$  проводились следующим образом. Откачанные и оттренированные горелки на посту наполнялись аргоном при  $P = 665...1330$  Па и через определенный промежуток, равный, например, 665 Па, осуществлялись замеры значений по указанной методике (трехкратный замер одного типоразмера горелки). Полученные данные измерений записывались в таблице.

Для определения зависимости  $U_3 = f(t)$  горелки с различными диаметрами и длинами помещались в камеру, в которой температура окружающей среды регулировалась и контролировалась при помощи малоинерционной быстродействующей термодпары. В камере устанавливалась необходимая для исследования температура и после подключения системы питания и контрольно-измерительной аппаратуры выполнялись измерения значений напряжения зажигания при различных значениях температуры окружающей среды ( $D_r$ ,  $L_r$  и  $P$  — величины постоянные).

### Исследование зависимости напряжения зажигания МГЛ от давления аргона в горелке

Целью проводимых исследований является оптимизация газового наполнения кварцевой горелки для снижения напряжения зажигания МГЛ. Как уже отмечалось, для испытаний были изготовлены кварцевые горелки ДРИ400/380 длиной 25; 38; 53; 60; 65; 90 мм и диаметром 11; 14; 15; 18; 20; 22; 24; 26 и 29 мм, по несколько штук каждого размера. При этом строго соблюдались технологические требования, предъявляемые к заготовкам и собранным горелкам. Наполнение горелки: тройная смесь иодидов  $TiI + NaI + InI_3$ .

Согласно методике проведения исследований, получаем значения напряжения зажигания МГЛ в зависимости от давления наполняющего газа (аргона).

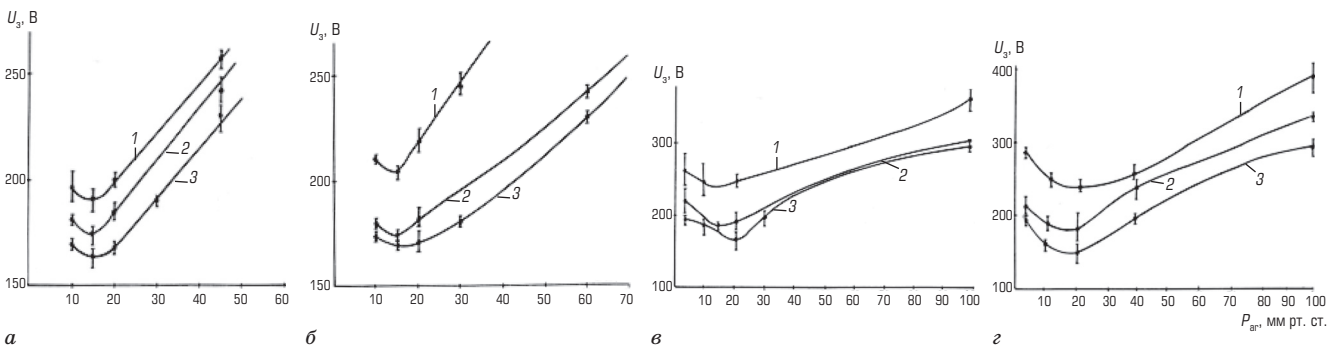
Данные измерений представлены в таблице.

По результатам измерений построены графики зависимости  $U_3 = f(P_{ар})$ . Из графиков видим, что значение напряжения зажигания зависит от давления наполняющего газа, причем минимум находится в промежутке 15...25 мм рт. ст.

Как и в ртутных лампах это объясняется тем, что при малых давлениях аргона электроны

Значение напряжения зажигания МГЛ в зависимости от давления  $P$  аргона при различных значениях  $t$  и двух значениях  $D_r$

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Давление аргона $P$ , мм рт. ст.									
	665	1330	1995	2660	3325	3990	6650	7980	10640	13300
	$D_r = 17,5 \text{ мм}$									
20	173±5	168±3	163±4	156±5	152±8	146±2	153±2	170±3	184±9	196±8
30	182±2	188±2	174±4	176±2	183±9	180±3	203±12	225±5	228±8	233±2
40	210±2	208±2	209±6	207±2	216±5	234±4	263±12	254±8	283±26	355±7
50	260±8	250±9	248±3	267±5	274±4	291±3	320	—	—	—
60	243±9	256±10	268±9	291±7	321±2	—	—	—	—	—
70	243±9	250±1	268±9	321±10	—	—	—	—	—	—
	$D_r = 20 \text{ мм}$									
20	169±8	162±8	156±4	151±3	153±2	154±9	167±2	170±6	192±6	199±20
30	168±2	154±2	148±2	146±3	156±4	157±2	175±5	175±4	173±5	175±4
40	168±5	163±4	166±4	166±2	163±3	157±2	165±2	175±2	186±9	214±3
50	181±5	179±4	196±4	203±9	194±2	196±4	197±12	200±8	243±5	249±28
60	205±4	193±4	188±9	191±2	201±2	195±11	202±9	217±12	227±2	245±4
70	196±4	206±4	205±5	210±7	218±3	218±3	266±18	203±3	329±8	—



Графики зависимости  $U_3 = f(P_{\text{ар}})$  при  $L_r = 25 \text{ мм}$  (а);  $L_r = 38 \text{ мм}$  (б);  $L_r = 53 \text{ мм}$  (в) и  $L_r = 60 \text{ мм}$  (з) и трех различных значениях температуры  $t, ^\circ\text{C}$ : кривая 1 — 60; кривая 2 — 40; кривая 3 — 20

имеют большую длину свободного пробега и теряют кинетическую энергию, необходимую для ионизации.

При высоких давлениях, наоборот, они имеют малую длину свободного пробега и не обладают достаточной энергией для ионизации. Поэтому к разрядному промежутку как в первом, так и во втором случае необходимо прикладывать повышенную разность потенциалов.

Графики зависимости  $U_3 = f(P_{\text{ар}})$  (см. рисунок) похожи на известные из физики кривые Пашена [1], однако в нашем случае имеются физико-химические особенности, обусловленные присутствием галогенных соединений.

### Исследование зависимости напряжения зажигания МГЛ от температуры окружающей среды

Большое значение для газоразрядных ламп высокого давления имеет температурный режим, в котором они будут эксплуатироваться. Для МГЛ это особенно важно. Если при низких температу-

рах эти лампы зажигаются примерно так же, как и ртутные лампы высокого давления, то при повышенных температурах процесс зажигания, очевидно, будет иным. Поэтому мы решили провести экспериментальные исследования зависимости напряжения зажигания МГЛ от температуры в положительной области. Зажигание МГЛ в области отрицательных температур изучено.

Исследованию подвергались кварцевые горелки, изготовленные для всех видов испытаний. Измерение напряжения зажигания горелки проводилось согласно методике измерений при 20...60 °C через каждые 10 с.

Измерения показали, что с повышением температуры напряжение зажигания МГЛ возрастает. Этим подтверждается положение о том, что при повышении температуры парциальное давление паров галогенных добавок в объеме горелки увеличивается, приводя тем самым к появлению элементов и соединений, способствующих образованию отрицательных ионов, которые, в свою очередь, способствуют повышению  $U_3$ .

**Выводы**

1. По результатам экспериментов можно определить оптимальные значения давления наполняющего стартового газа в излучающих горелках МГЛ для надежного их зажигания при напряжении питающей сети 220 и 380 В.

2. Установлено, что для различных конструкций разрядных горелок в трехэлектродном исполнении напряжение зажигания минимально при  $P_{\text{ар}} = 15 \dots 20$  мм рт. ст. (2660 Па).

3. Однозначно определена зависимость напряжения зажигания от температуры окружающей среды: при низких значениях температуры зажигание МГЛ происходит так же, как и в ртутных лампах высокого давления, а с повышением температуры напряжение зажигания резко возрастает. При граничных значениях температуры пуск МГЛ невозможен.

4. Результаты экспериментальных исследований позволяют разработать рекомендации по газовому наполнению различных конструкций ламп и оптимальному температурному режиму эксплуатации навигационных приборов оптического диапазона.

**Литература**

1. Уэймаус, Д. Газоразрядные лампы / Д. Уэймаус; под ред. Г. И. Рохлина, Л. И. Фугенфировой. — М.: Энергия, 1987. — 390 с.

2. Пат. США. Металлогалогенная лампа с встроенным поджигающим устройством. — Кл. 315/60, № 4097777; заявл. 10.10.86; опубл. 27.06.87.

3. Беляков, В. И. Исследование процессов зажигания и оптимизация конструкции ламп ДРЛ: дис. кандидата техн. наук / В. И. Беляков. — М., 1986. — 134 с.

4. Пат. Японии. Металлогалогидная лампа с непрерывным спектром излучения в видимой области. — Кл. 93Д221; № 48-15895, опубл. 18.05.85.

5. Атаев, А. Е. Исследование ртутных газоразрядных источников света высокого давления массового применения: дис. кандидата техн. наук / А. Е. Атаев. — М., 1985.

6. Назарова, Т. Б. Исследование процессов возникновения разряда в газоразрядных ртутных приборах с металлогалогидными добавками с целью оптимизации их конструкции: дис. кандидата техн. наук / Т. Б. Назарова. — М., 1986. — 205 с.

7. А. с. № 3369706/24-07 СССР Вспомогательный электрод для ГРЛВД / [Ю. П. Петренко, В. С. Литвинов, А. Е. Атаев, Т. Б. Назарова, Б. Васильев, А. П. Литвин]; заявл. 29.09.88.

8. Румшанский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшанский. — М.: Наука, 1981. — 192 с.

**Рецензент:** доктор техн. наук, профессор С. В. Козелков, Учебно-научный институт Телекоммуникаций и информатизации Государственного университета телекоммуникаций, Киев.

*О. В. Шульга, Д. М. Нелюба, В. О. Сокіріна*

### **ГЕОМЕТРИЧНІ РОЗМІРИ РОЗРЯДНОГО ПАЛЬНИКА МЕТАЛОГАЛОГЕННИХ ЛАМП ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИБОРІВ НА ЇХ ОСНОВІ**

*Розглядаються методика та результати експериментальних досліджень процесу стартування застосовуваних у приладах навігації джерел випромінювання високої інтенсивності з галогенними добавками та впливу на цей процес геометричних розмірів розрядного пальника.*

*Пропонуються варіанти підвищення надійності стартування зазначених джерел випромінювання, що забезпечують значне поліпшення світлових та експлуатаційних характеристик приладів навігації при номінальних напругах.*

**Ключові слова:** аргон; розряд; основний електрод; електрод підпалювальний; пальник; трьохелектродна конструкція; йодид металу; запалювання, електроліз.

*O. Shulga, D. Neliuba, V. Sokirina*

### **GEOMETRICAL DIMENSIONS INFLUENCE OF THE DISCHARGE BURNER METAL HALIDE LAMPS FOR VOLTAGE PLUGS TO IMPROVE NAVIGATIONAL INSTRUMENTS RADIATION SOURCES BASED RELIABILITY**

*The technique and results of experimental studies start process of high intensity radiation sources with halide additives depending on the geometric dimensions of the discharge of the burner, which influence the ignition voltage of the lamps, operating without special ignitors and switching circuits.*

*Available options to improve the reliability of the start (ignition) of gas-discharge light sources of high pressure in order to further control the release of the operating mode and to achieve light and performance navigation devices at rated voltage.*

**Keywords:** argon discharge main electrode; igniting the burner; 3-helektrodnaya construction; metal iodide; ignition electrolysis.