

раньше в разрядах использовались преимущественно атомарные газы и пары и мы имели дело главным образом с физическими проблемами, то теперь в связи с использованием химических соединений круг проблем расширился и сместился в сторону физико-химических и химических. При этом возник также целый ряд технологических проблем, связанных с созданием достаточно долговечных ламп.

## Литература

- Мейер А. и Зейтц Э. Ультрафиолетовое излучение. Изд-во иностр. лит., 1952.
- Клярфельд Б. Н. Труды ВЭИ, вып. 41, «Электронные и ионные приборы», под ред. П. В. Тимофеева, Госэнергоиздат, 1940.
- Фабрикант В. А. Труды ВЭИ, вып. 41. Госэнергоиздат, 1940.
- Биберман Л. М. ЖЭТФ, 1947, т. 17, вып. 5.
- Рохлин Г. Н. Газоразрядные источники света. Изд-во «Энергия», 1966.
- Сарычев Г. С. «Светотехника», 1967, № 1.

Текст: 30,56  
рис: 0,01

УДК 621.327.9

## ОБ УСКОРЕННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ СРЕДНЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ГОРЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Инженеры Э. И. МИЛЬ и Н. В. РОЖКОВА  
Всесоюзный светотехнический институт

В последние годы расширился объем исследований по созданию методов ускоренной оценки долговечности люминесцентных ламп [Л. 1—5]. Направление этих исследований различно и зависит от того, для решения каких практических задач предназначен метод.

Работы, проводимые в лаборатории контроля ВНИСИ, направлены на создание методики, позволяющей определять в возможно короткие сроки соответствие долговечности люминесцентных ламп (л. л.) требованиям стандарта.

Как известно, срок службы л. л. определяется в основном двумя факторами: износом катодов и спадом светового потока. Однако при существующих нормах и методах контроля спад светового потока ламп оценивается за период, равный 40% времени, необходимого для определения срока службы катодов л. л. Поэтому первоочередной задачей является разработка методики ускоренного определения долговечности катодов л. л. При этом желательно сократить время испытаний минимум до 40—50% от времени нормальных испытаний и получать результаты с точностью, сопоставимой с точностью результатов стандартных испытаний.

Анализ возможных направлений создания методики ускоренных испытаний катодов л. л. [Л. 5] показал, что при заданных ограничениях времени испытаний, точности и достоверности результатов наиболее перспективным является метод экстраполяции. Он основан на наблю-

дении за какой-либо характеристикой, изменяющейся по мере износа катодов, нахождении графического или аналитического вида зависимости этой характеристики от времени горения ламп и определении долговечности катодов путем экстраполяции этой зависимости до некоторого предельного значения, соответствующего отказу лампы.

В качестве наблюдаемой характеристики был выбран расход оксидного покрытия катода. Реальная основа для создания метода прогнозирования срока службы катодов л. л. появилась после разработки на кафедре светотехники и источников света МЭИ способа определения расхода оксида по изменению падения напряжения на катоде [Л. 3]. Однако область применения метода ускоренной оценки долговечности катодов, разработанного для режима непрерывного горения л. л. [Л. 4], весьма ограничена. Это связано с тем, что использованная при его создании методика обработки экспериментальных данных и определения предельного значения наблюдаемой характеристики может применяться только в случае полной однородности катодов и при отсутствии поверхностного расхода оксида. В реальных схемах и для реальных ламп эти условия не выполняются.

Настоящая статья посвящена разработке первого варианта методики проведения измерений по определению расхода оксида методом МЭИ с целью получения данных для экстраполяции; созданию методики анализа и ма-

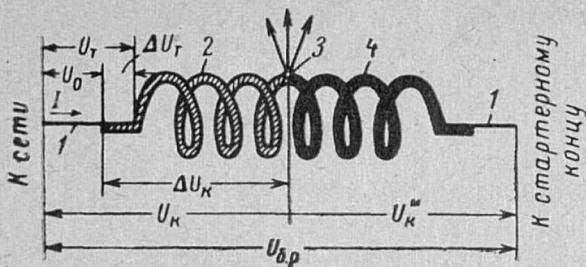


Рис. 1. Падение напряжения на отдельных участках катода л. л.

$U_{b,p}$  — падение напряжения на катоде негорящей лампы при подогреве его током, выбранным для измерения  $U_k$ ;  $U_k$  — падение напряжения на катоде горящей лампы;  $U_0$  — падение напряжения на неоксидированном участке спирали;  $U_t$  — падение напряжения на «тире» катода (1);  $\Delta U_t$  — падение напряжения на оксидированном участке «тире»;  $\Delta U_k = U_k - U_0$  — падение напряжения на участке катода, освободившемся от оксида (2); 3 — катодное пятно; 4 — участок спирали, покрытый оксидом.

систематической обработки экспериментальных данных для нахождения средней продолжительности горения л. л.; оценке возможности использования предлагаемого метода с учетом определенных технологических допусков при производстве ламп и их эксплуатации и предварительной оценке точности результатов.

Экспериментальная часть работы состояла в испытаниях различных групп ламп на срок службы и измерениях через определенные интервалы времени характеристик катодов: падения напряжения на катоде до катодного пятна (к. п.)  $U_k$  (по схеме МЭИ); падения напряжения на неоксидированной части катода со стороны стартера  $U_0$  и полного падения напряжения на катоде при том же токе  $U_{b,p}$  (рис. 1). Первая величина характеризует путь, пройденный к. п., т. е. расход оксида; последняя, с некоторыми поправками (в частности, на величину  $U_0$ ) — предельное значение измеряемой характеристики в момент отказа катодов.

Важной задачей эксперимента была оценка влияния допустимых и превышающих допуск отклонений технологических и эксплуатационных факторов на вид исследуемых зависимостей  $U_k = f(t)$ ,  $U_{b,p} = f(t)$ . Поэтому исследования проводились на лампах с катодами различных конструкций, разными качеством обработки катода и давлением наполняющего газа (в пределах, значительно превышающих технологические допуски). Лампы испытывались в стартерной схеме, предусмотренной ГОСТ 6825-61, но с различными циклами включения (непрерывным, шести-, трех- и однотактовым). Чтобы свести к минимуму отказы по вине схемы включения, в процессе испытаний систематически проводилась проверка используемых стартеров и балластных

устройств на соответствие требованиям действующих стандартов.

Первоочередным этапом работы явилось уточнение методики проведения измерений. При этом учитывалось требование предельного сокращения времени и объема измерений при ускоренных испытаниях и получения необходимой точности результатов.

Как известно, после включения л. л. ее тепловой и электрический режимы стабилизируются в течение примерно 15 мин. Кроме того, само к. п. некоторое время перемещается по катоду, что связано, очевидно, с состоянием оксидного покрытия на отдельных участках спирали. Поэтому на 22 катодах ламп, отобранных из разных партий, были проведены исследования, позволившие определить минимальное время стабилизации режима и оценить ошибку воспроизводимости при измерении  $U_k$ ,  $U_0$  и  $U_{b,p}$ . Знание численной величины этой ошибки необходимо при выборе интервалов времени горения ламп между измерениями характеристик, при определении необходимого числа экспериментальных точек и оценке точности результатов. Опыт показал, что предельное время стабилизации режима ламп, при котором воспроизводимость не улучшается, равно примерно 30 мин. Это время может быть уменьшено до 10 мин, если предусмотреть предварительный нагрев ламп перед измерениями в обычной стартерной схеме. При этом относительная ошибка воспроизводимости при измерениях  $U_k$  в схеме МЭИ составляет в среднем около 4% в новых лампах и около 2% в лампах, проработавших не менее нескольких сотен часов.

Найденные значения ошибки в определении положения к. п. позволили выбрать минимальный интервал между измерениями характеристик ламп. Он должен не менее чем в 2 раза превышать значения ошибки и составлять около 5% предполагаемого среднего срока службы ламп.

В соответствии с выбранной методикой проводились измерения  $U_k$ ,  $U_0$  и  $U_{b,p}$  в 150 л. л. за время от начала их испытаний до полного срока службы.

Анализ полученных экспериментальных зависимостей (например, рис. 2) показал, что скорость движения к. п. непостоянна и обычно возрастает к концу срока службы; у большинства ламп (в том числе и у испытанных в режиме непрерывного горения) наблюдался так называемый «срыв» к. п. перед выходом катода из строя; характер движения к. п. по отдельным катодам достаточно сложен; отклонения от плавной кривой превышают ошибку воспроизводимости, что объясняется, очевид-

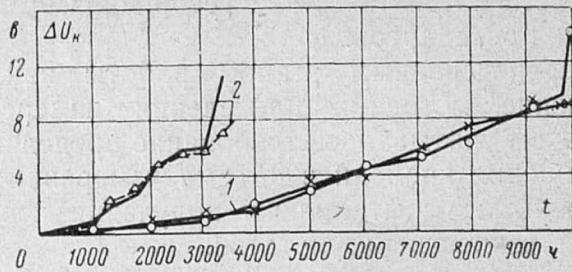


Рис. 2. Характер перемещения к. п. по отдельным катодам л. л. МЭЛЗ при 3-часовом цикле.  
1 —  $p_{n,g}=3$  мм рт. ст.;  $T=9800$  ч; 2 —  $p_{n,g}=2$  мм рт. ст.;  
 $T=3410$  ч.

но, неравномерностью толщины и качества оксидного покрытия на катодах; скорости движения к. п. по катодам отдельных ламп и по разным катодам одной лампы могут иметь существенные различия (в 1,5—2 раза) и по начальным данным (собранным в течение 2000—3000 ч) не представляется возможным с достаточной достоверностью выявить «худший» катод, выход которого из строя вызывает отказ лампы.

Последнее обстоятельство приводит к тому, что срок службы лампы приходится находить по данным, усредненным для обоих катодов. Это в свою очередь определяет целесообразность нахождения средней долговечности партии ламп по результатам, полученным при экстраполяции усредненной зависимости напряжения на катоде от времени горения ламп.

Усредненная зависимость может определяться в виде одного из двух корреляционных уравнений  $\bar{U}_k=f(t)$  и  $\bar{t}=f(\bar{U}_k)$ . Первое определяет среднее значение напряжения в момент времени  $t_i$ , второе — среднее время, за которое падение напряжения на катодах достигает значения  $U_{hi}$ . Корреляционная связь вида  $\bar{t}=f(U_k)$  отражает сущность поставленной задачи, так как искомой величиной является средняя продолжительность горения ламп, соответствующая времени, когда величина напряжения на катодах достигает предельного значения. Но ввиду существенного различия скорости перемещения к. п. на отдельных катодах, получение хотя бы начальных точек этой зависимости может потребовать длительного времени испытаний, что несовместимо с поставленными ограничениями по времени испытаний. Данные для получения зависимости  $\bar{U}_k=f(t)$  накапливаются непосредственно в процессе испытаний. Поэтому для исследования была выбрана корреляционная зависимость вида  $\bar{U}_k=f(t)$ . Для ламп, вышедших из строя в процессе испытаний, должно учитываться значение напряжения, полученного при экстраполяции найденных зависимостей  $U_k=f(t)$  и  $U_{b,p}=f(t)$ . Однако при ограниченном

сроке испытаний необходимость прибегать к этому средству возникает сравнительно редко. Путем измерения характеристик катода через определенные интервалы времени и обработки результатов измерений был получен ряд точек начального участка искомой кривой.

Как известно, методы экстраполяции являются наиболее простыми в том случае, когда имеет место линейная зависимость между исследуемыми величинами.

Простейший анализ способа расходования оксида в л. л. свидетельствует о том, что при наличии поверхностного расхода оксида скорость движения к. п. должна возрастать по мере работы катода. Зависимость  $U_k=f(t)$  должна в идеале представлять собой монотонно возрастающую функцию выпуклостью вниз. Однако, как показал анализ результатов эксперимента, достаточно надежное представление о виде и параметрах этой функции не может быть получено по опытным данным ее начального участка. Поэтому было решено использовать для экстраполяции линейную функцию.

На рис. 3—5 представлены обработанные описанным выше способом результаты наблюдения за перемещением к. п. в процессе горения ламп одной партии, испытанных в трех режимах, и ламп с разным давлением наполняющего газа, испытанных при 3-часовом цикле.

Рассмотрение полученных зависимостей показывает, что скорость движения к. п. по «тире» отличается от скорости движения по биспирали, кривые имеют перегиб в точках, соответствующих падению напряжения на тире, которое составляет в среднем 1,3 в\* для

\* Измерения проводились при  $i_p=0,41$  а.

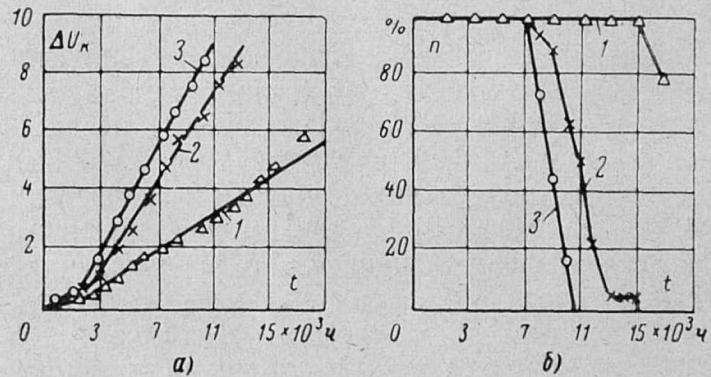


Рис. 3. Результаты испытания партии л. л. в трех режимах.  
1 — непрерывного горения; 2 — с 6-часовым циклом включений;  
3 — с 3-часовым циклом включений.  
а — кривые  $\Delta U_k=f(t)$ ; б — кривые зависимости относительного числа горящих ламп  $n$  от времени.

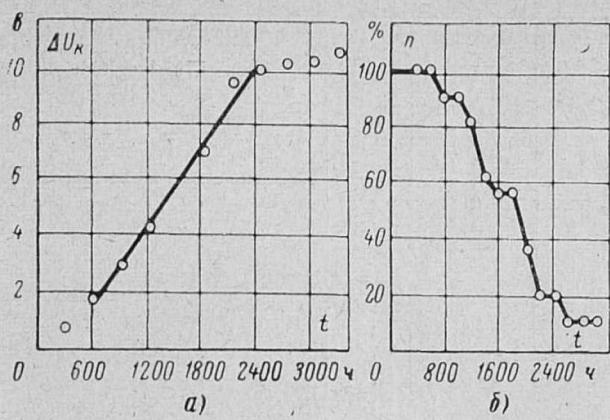


Рис. 4. Результаты испытаний л. л. с давлением наполняющего газа 1,5 мм рт. ст. при 3-часовом цикле.  
а —  $\Delta U_k = f(t)$ ; б —  $n = f(t)$ .

катодов 40-ваттных ламп. Хотя согласно существующей технологии оксид не должен находиться на тире катода, во многих случаях это условие не выполняется. Поэтому экспериментальные точки, относящиеся к тире, должны исключаться из рассмотрения зависимости  $\bar{U}_k = f(t)$ . Остальные экспериментальные данные для всех рассматриваемых случаев с большой степенью точности могут быть представлены прямой линией (рис. 3—5). Для нахождения этой прямой использован метод наименьших квадратов [Л. 6], согласно которому коэффициенты зависимости  $y = ax + b$  определяются по формулам

$$a = \frac{N \left( \sum_{i=1}^N x_i y_i \right) - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2};$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i y_i \sum_{i=1}^N x_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2},$$

где  $N$  — количество полученных точек;  $x_i$  — момент времени  $i$ -го измерения;  $y_i$  — значение  $U_k$  для  $i$ -го измерения.

По полученным экспериментальным результатам был проведен расчет линейных функций методом наименьших квадратов. Относительная основная ошибка определялась как

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y'_i)^2}{N-1}},$$

где  $y'_i$  — теоретические значения  $y_i$ , определенные после нахождения коэффициентов  $a$  и  $b$  для каждого значения  $x_i$ .

Значение  $\sigma_0$ , показывающее степень отклонения экспериментальных точек от найденной прямой, составляет 5—7 %. Расчеты и анализ показали, что при представлении экспериментальных результатов различными нелинейными функциями основная ошибка обычно не уменьшается. Это подтверждает правильность идеи о возможности применения метода линейной экстраполяции для достижения поставленной цели.

Однако замена действительной нелинейной закономерности прямой линией приведет при экстраполяции к завышенной оценке среднего срока службы ламп, если не ввести соответствующие поправки. Возможность использования линейной функции подтверждается и тем, что выбранная методика обработки экспериментальных данных (замена зависимости  $t = f(U_k)$  зависимостью  $\bar{U}_k = f(t)$  и обработка не по «худшим», а по всем катодам) уже вносит систематические погрешности в оценку  $T_{ср}$  и требует введения поправок, находимых эмпирически. Даже если найти (за длительный период испытаний) и экстраполировать нелинейную функцию, необходимость вводить указанные поправки не отпадает. Очевидно, при линейной экстраполяции целесообразно ввести комплексную поправку, учитывающую все допущения, в виде коэффициента  $k$  для значений  $U_{пред}$ .

В исследованиях изучалась возможность нахождения единого поправочного коэффициента для л. л., выполненных с различными (допустимыми или неконтролируемыми) отклонениями от технологии, различными конструкциями катода и при различных режимах включения ламп в стартерной схеме.

Вопрос о выборе предела  $U_T$ , соответствующего среднему сроку службы, до которого следует экстраполировать найденную линей-

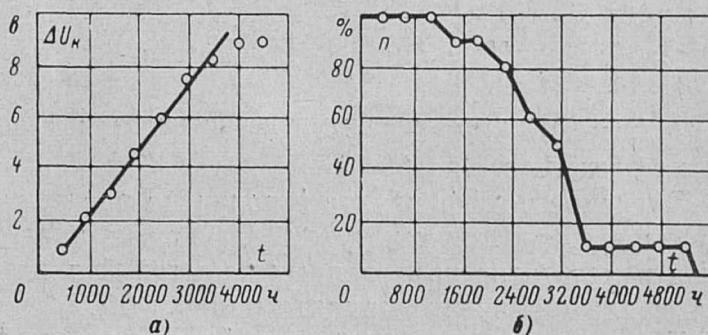


Рис. 5. Результаты испытаний л. л. с давлением наполняющего газа 2,5 мм рт. ст. при 3-часовом цикле.  
а —  $\Delta U_k = f(t)$ ; б —  $n = f(t)$ .

ную зависимость, является крайне важным. При выбранном способе обработки опытных данных следует учитывать, что при усреднении  $\bar{U}_k$  будет меньше, чем фактическое падение напряжения на отказавшем катоде.

При расчете предельного значения  $U_k$  требуется прежде всего ввести поправку, учитывающую падение напряжения на неоксидированных участках спирали. Эксперимент показал, что при работе ламп в стартерной схеме (даже в режиме достаточно частых включений) падение напряжения на участке биспиралей со стороны стартера практически остается постоянным. Поэтому из полного падения напряжения  $U_{б.p}$  необходимо вычесть падение напряжения  $2\bar{U}_0$ , где  $\bar{U}_0$  — среднее для партии начальное падение напряжения на всех неоксидированных участках катодов.

По мере работы катода и расходования оксида (а в ряде случаев и распыления керна) изменяется температура и сопротивление катода при рабочем токе  $i_p$ . Как показывает опыт, полное падение напряжения на катоде к концу срока службы катода возрастает на 10—15% в зависимости, очевидно, от теплофизических свойств оксида, толщины его слоя и других характеристик катодов. По данным измерений можно построить зависимость  $\bar{U}_{б.p} = f(t)$  и найти  $T_{ср}$  как решение уравнения  $\bar{U}_k(t) = \bar{U}_{б.p}(t)$  с введением соответствующих поправок. Однако, судя по приведенным выше данным изменения  $U_{б.p}$  и исходя из соображений удобства практического применения, целесообразно при определении  $U_t$  использовать начальное среднее значение  $U_{б.p}^0$ , внося дополнительно поправки в коэффициент  $k$ .

Таким образом, предельное значение напряжения на катоде должно определяться по формуле

$$U_t = k (\bar{U}_{б.p}^0 - 2\bar{U}_0),$$

где  $\bar{U}_{б.p}^0$  — групповое среднее падение напряжения на катодах ламп при  $t = 0$  ч.

Значение коэффициента  $k$  получено расчетно-экспериментальным путем на основе анализа результатов проведенных испытаний л. л. Его среднее значение принято равным 0,7.

Точка пересечения прямолинейного участка зависимости  $\Delta\bar{U}_k = f(t)$  \*\* с установленным пре-

Завод-изготовитель	Давление наполняющего газа $P_{Н.Г.}$ мм рт. ст.	Продолжительность циклов включения, ч	Средняя продолжительность горения партии ламп $\bar{T}$ , ч	Коэффициент вариации $v$	Средняя продолжительность горения, полученная путем экстраполяции по начальному участку зависимости $\Delta\bar{U}_k = f(t)$ , $T_{ср.эксп}$	
					ч	$\Delta T = \frac{T_{ср.эксп} - \bar{T}}{\bar{T}} \cdot 100\%$
ПЗГРЛ	3,0	6	6 700	0,28	7 500	+12
ПЗГРЛ	3,0	Непрерывно	12 200	0,35	10 700	-12
ЕЭЛЗ	0,5	1	410	0,51	500	+22
ЕЭЛЗ	1,0	1	650	0,25	675	+2
ЕЭЛЗ	2,5	1	2 250	0,20	2 200	-2

делом является точечной оценкой средней продолжительности горения л. л.

Проверка возможности применения найденных соотношений для ускоренной оценки среднего срока службы л. л. была проведена на ряде партий. При этом строилась зависимость  $\Delta\bar{U}_k = f(t)$  как по всем экспериментальным точкам, так и путем линейной экстраполяции начального участка зависимости (полученного после перехода к. п. с тире на биспираль) до найденного предела. В таблице приведены значения точечных оценок  $T_{ср}$ , полученные при экстраполяции по неполным данным, и значения  $T_{ср}$ , полученные по данным о фактическом выходе ламп из строя.

Анализ показал, что для л. л. разного качества разница средней продолжительности горения, определенной методом линейной экстраполяции, и фактической средней продолжительностью горения тех же ламп составляет от 2 до 22% и существенно зависит от однородности испытываемых ламп.

**Выводы.** 1. Проведенные исследования показали, что имеется реальная возможность оценки средней продолжительности горения л. л. за время в 2—2,5 раза меньшее, чем время испытаний по ГОСТ 6825-61.

2. Для этого может быть использован метод линейной экстраполяции зависимости  $\Delta\bar{U}_k = f(t)$  до установленного предела, определяемого с учетом ряда поправок.

3. Метод дает возможность определять среднюю продолжительность горения л. л. с различной технологией изготовления и в различных режимах испытаний.

4. Методика обработки экспериментальных данных, разработанная для случая определения расхода оксида по движению к. п., может быть использована и в случаях наблюдения за расходом оксида другими способами (например, при оценке привеса оксида по изменению теплоемкости катодов).

5. При решении задач, связанных с точно-

\*\*  $\Delta U_k = U_k - U_0$ .

стью, существенную роль играет исследование физических закономерностей, поэтому следует уделять большее внимание исследованиям физики явлений, происходящих на катоде л. л.

6. Окончательная разработка метода требует проведения теоретического, расчетного и статистического уточнения коэффициента  $k$ , выбора минимального числа экспериментальных точек, необходимых для экстраполяции, и определения точности получаемых оценок.

7. Разработка методов, основанных на наблюдении за изменением параметра, связанного с износом катода в процессе горения, должна сочетаться с изучением влияния на срок службы л. л. различных технологических факторов.

Авторы благодарят Г. Н. Рохлина за руководство работой, А. Е. Жучковского и Н. Я. Кузьминскую за проведенную ими обработку экспериментального материала.

## Л и т е р а т у р а

1. Сасоров В. П. «Светотехника», 1963, № 7.
2. Литвинов В. С. «Светотехника», 1964, № 5.
3. Литвинов В. С., Ходер М. М., Рощин Е. В. «Светотехника», 1965, № 2.
4. Литвинов В. С., Ходер М. М., Гуров Ю. П. «Светотехника», 1966, № 9.
5. Дьяконова Э. В., Миль Э. И., Рожкова Н. В. «Светотехника», 1967, № 1.
6. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями, ИЛ, 1956.

текст = 0,57  
расч. = 0,44

УДК 621.3.032.4

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА БАЛЛАСТНОГО ДРОССЕЛЯ

Канд. техн. наук А. М. ТРОИЦКИЙ  
Московский энергетический институт

При испытании индуктивных балластов для газоразрядных ламп, параметры которых определены известным методом конструктивного расчета [Л. 1], практически всегда оказывается, что реактивное сопротивление дросселей, изготовленных строго по результатам расчетов, заметно превосходит требуемое. Это связано с тем, что в указанном методе расчета не принимается во внимание уменьшение максимальной индукции в воздушном зазоре за счет выпучивания в нем магнитного потока и расстояния последнего между стержнями магнитопровода. Ниже предлагается метод определения воздушных зазоров дросселей, учитывающий наличие магнитных полей вне магнитопроводов и обладающий достаточной для практики точностью (5—10%).

Использование этого метода при расчете индуктивных балластов для газоразрядных ламп, питаемых током частотой 50 гц, позволяет избавиться от дополнительной настройки дросселей, сводящейся обычно к увеличению длины воздушного зазора по сравнению с ее расчетным значением. Экономии в расходе активных материалов на изготовление дросселя при этом не получается<sup>1</sup>, так как макси-

мальная индукция в сердечнике строго ограничивается сверху требованиями линейности вольт-амперной характеристики дросселя в рабочем и пусковом режимах. Однако при расчете индуктивных балластов для газоразрядных ламп, питаемых током повышенной частоты, когда указанные ограничения теряют свою силу, использование этого метода, помимо отсутствия дополнительной настройки дросселей, позволит заметно сократить расход проводникового материала на их изготовление. Рассеяние магнитного потока и его выпучивание в воздушном зазоре также необходимо учитывать и при расчетах дросселей переменной индуктивности с плавно регулируемым воздушным зазором.

Магнитопроводы дросселей для газоразрядных ламп изготавливаются из сталей, имеющих высокую магнитную проницаемость, и работают преимущественно в ненасыщенном режиме. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать лишь этот случай. При наличии рассеяния магнитный поток в различных участках стальных стержней магнитопровода не является постоянной величиной. Однако можно принять, что по всей длине сердечника проходит одинаковый поток  $\Phi_1$ , создающий то же падение магнитного потенциала в сердечнике, что и реальный поток. Расчеты показывают [Л. 2], что среднее значение потока  $\Phi_1$  будет меньше его значения  $\Phi$ , определенного

<sup>1</sup> Если не учитывать небольшого уменьшения коэффициента заполнения окна магнитопровода обмоткой по сравнению с расчетным значением, т. е. не принимать во внимание некоторую нерациональность использования магнитопровода с данной площадью окна.