

Г. Н. РОХЛИН

О КОНВЕКЦИИ В РТУТНОМ РАЗРЯДЕ СВЕРХВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 23 IX 1946)

Ряд признаков косвенно указывает на то, что в ртутных шаровых лампах сверхвысокого давления (свдш) конвекция должна играть значительную роль в механизме разряда⁽¹⁾. В частности, есть основание полагать, что контракция свечения в этих дугах связана с конвекционными потоками паров ртути, вызывающими охлаждение наружных частей шнура.

При этом, поскольку излучение есть очень резкая функция тем-

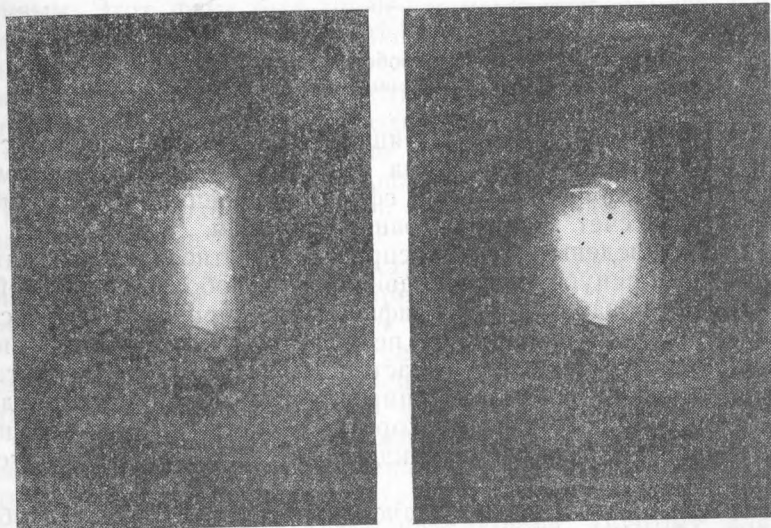


Рис. 1

пературы⁽²⁾, достаточно лишь незначительного охлаждения наружной части разрядного канала, чтобы вызвать резкое изменение границ свечения.

Как известно⁽³⁾, в пространстве, свободном от силы тяжести, конвекционные потоки должны отсутствовать. Такое пространство можно создать внутри свободно падающей камеры. Мы провели исследование шаровых ламп свдш-250, мощностью 250 ватт переменного тока при падении с высоты 16 м. Во время свободного падения производилось фотографирование светящегося шнура специальной фотокамерой, падавшей вместе с лампой. Большинство фотографий делалось спустя 1,6 сек. с начала падения. На каждую пластинку, кроме того, снимались марки почернения. Одновременно на катодном осциллографе

наблюдалось изменение напряжения на лампе и силы тока в процессе свободного падения. Во время падения оставалось неизменным напряжение сети и величина балластного сопротивления. Лампы укреплялись в вертикальном положении.

На рис. 1 даны сильно передержанные фотографии светящегося шнура неподвижной и свободно падающей лампы свдш-250, снятые для одного режима горения. На снимке слева — неподвижная лампа, справа — свободно падающая лампа.

Из рассмотрения ряда подобных фотографий, но с нормальным почернением удалось установить, что в свободно падающей лампе на-

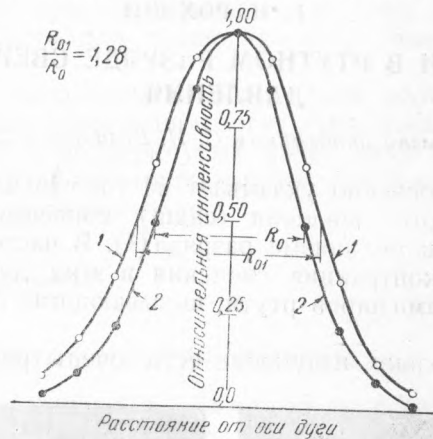


Рис. 2. 1 — свободно падающая лампа, 2 — неподвижная лампа

блюдается заметное уширение светящегося шнура по сравнению со шнуром в неподвижной лампе. Форма шнура становится при этом более симметричной и приближается к сфере. Уширение происходит главным образом за счет развития границ свечения.

На рис. 2 приведены кривые распределения относительных интенсивностей поперек шнура для неподвижной и свободно падающей ламп, полученные из обработки фотографий. Полуширина светящегося шнура R_0 возрастает на 25—30% от первоначального значения. Значение же отношения интенсивностей растет к краям шнура, достигая 2 и более. Полученное значение уширения представляет, повидимому, нижний предел, поскольку за короткое время свободного падения существовавшие в лампе конвекционные потоки еще не успевали полностью затухнуть.

Из многих опытов было установлено, что во время свободного падения лампы свдш напряжение на ней возрастало с первых же моментов падения на 5—7 V при 65—68 V (эффективного напряжения) на лампе. Пик повторного зажигания уменьшался примерно на 3—8 V. В момент удара разряд неизменно прекращался. Сила тока к концу падения очень незначительно уменьшается (на 2%).

Зная из эксперимента изменение R_0 и градиента G , можно найти изменение эффективной температуры разряда T_0 при устранении конвекции. Пользуясь моделью разрядного канала с постоянной эффективной температурой T_0 и эффективным радиусом R_0 (1,4) можем написать:

$$G = c \frac{Jp^{1/2}}{\pi R_0^2} E^{U^*/2 T_0} \quad (1)$$

Здесь: J — сила тока, p — давление, U^* — потенциал ионизации, c — константа.

При устранении конвекции изменение градиента может происходить в основном за счет изменения R_0 и T_0 , так как остальные величины при этом изменяются очень мало. Новое значение градиента будет равно:

$$G_1 = c \frac{J_1 p^{1/2}}{\pi R_{01}^2} E^{U^*/2 T_{01}}. \quad (2)$$

Пользуясь формулами (1) и (2), легко видеть, что:

$$\lg \left\{ \frac{G_1}{G} \left(\frac{R_{01}}{R_0} \right)^2 \right\} = 0,215 U^* a, \quad (3)$$

где $a = (T_0 - T_{01}) / T_0 T_{01}$.

Оценивая катодно-анодное падение в 15 В⁽⁵⁾, найдем, что в наших условиях $G_1/G \cong 1,12$. Отношение $R_{01}/R_0 = 1,24$. Принимая $U^* = 9,5$ В⁽⁶⁾, по формуле (3) легко получить, что $a = 0,10$. Принимая, далее, $T_0 = 8200^\circ$ К⁽⁷⁾, получим, что при устранении конвекции эффективная температура разрядного канала падает до значения 7600° К, т. е. на 600° .

Столь значительное падение температуры дуги должно сопровождаться резким уменьшением интенсивности свечения. Однако в наших условиях падение интенсивности должно было приблизительно компенсироваться ростом излучающего объема так, что поток излучения с единицы длины дуги должен был оставаться практически неизменным. Этот факт был проверен нами экспериментально. Для этой цели на боковой стенке падающей камеры вместо фотоаппарата устанавливался миниатюрный фотоэлемент, падавший вместе с лампой. Действительно, оказалось, что фототок оставался неизменным, независимо от того, была ли лампа неподвижной или свободно падала.

На основе этих данных можно подсчитать, что средняя яркость при устранении конвекции уменьшается до 0,8 от начального значения. Уменьшение яркости шнура в свободно падающей лампе отчетливо наблюдалось на фотографиях.

На первый взгляд может показаться парадоксальным факт возрастания напряжения на лампе при устранении конвекции. Казалось бы, что, устраняя конвекцию, мы ухудшаем теплоотвод из канала дуги, что должно привести к увеличению температуры разряда и, следовательно, уменьшению градиента⁽²⁾. Однако более внимательное рассмотрение вопроса показывает, что в наших экспериментах устранение конвекции может сопровождаться падением температуры дуги и, следовательно, ростом напряжения.

Устранение конвекционных потоков приводит к расширению разрядного канала и росту излучающего объема. Поэтому для отвода той же мощности через излучение достаточна более низкая температура дуги. Величина тепловых потерь, несмотря на устранение потерь через конвекцию, может остаться той же или даже несколько возрасти, поскольку при расширении разрядного канала растет эффективная поверхность охлаждения. Новое равновесное состояние устанавливается в зависимости от условий внешней цепи, причем во многих случаях эти условия таковы, что мощность дуги мало меняется при изменении градиента. Таким образом, конвекционные потоки в этих лампах, повидимому, влияют главным образом на формирование светящегося объема, а не на энергетический баланс дуги.

Известно, что появление пика напряжения в начале каждого полупериода связано с охлаждающим действием электродов на дугу⁽⁸⁾. При этом, если дуга расположена вертикально, то заметное темное пространство появляется только у нижнего электрода⁽⁹⁾. Нет сомнения, что в данном случае одной из причин образования этого тем-

ного пространства являются конвекционные потоки, вызывающие дополнительное охлаждение дуги около нижнего электрода. С этой точки зрения становится понятным уменьшение пика зажигания при устранении конвекции. Однако тот факт, что происходит сравнительно небольшое уменьшение пика, свидетельствует, что охлаждение дуги около электродов определяется в основном градиентом температуры газа вблизи электродов. Конвекция влияет только на величину этого градиента, но не на самый факт его существования.

Пользуюсь случаем выразить благодарность проф. В. А. Фабриканту, под руководством которого была выполнена эта работа.

Всесоюзный электротехнический институт

Поступило
23 IX 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. Rompe u. P. Schulz, Z. Physik, 112, 691 (1939); R. Rompe u. W. Thoret, Physik. Z., 59, 944 (1938).
- ² W. Eleubaas, Physica, 1, 673 (1934); G. Heller, Physics, 6, 389 (1935).
- ³ M. Steenbeck, Phys. Z., 58, 1019 (1937); S. Kenty, J. App. Phys., 10, 714 (1939).
- ⁴ W. Eleubaas, Physica, 2, 757 (1935).
- ⁵ А. Жемаев и Агафонов, Техн. отчет ВЭИ, 236—04, 1941.
- ⁶ R. Rompe u. P. Schulz, Z. Physik, 110, 223 (1938).
- ⁷ R. Rompe u. P. Schulz, Z. Physik, 118, 269 (1941).
- ⁸ J. Kern, Z. Physik, 114, 552 (1939).
- ⁹ S. Kenty, J. App. Phys., 9, 13 (1938).