

## ОБ ОЦЕНКЕ ВАРИАЦИИ ШУНТОВ НА БОЛЬШИЕ ПОСТОЯННЫЕ ТОКИ

Л. Г. ФУКС, В. В. ИВАНОВ

(Представлено кафедрой котлостроения и котельных установок)

Стандартом на стационарные шунты ГОСТ 8042-61 предусмотрено, что максимальная вариация шунта, возникающая из-за неравномерности токоподвода, должна лежать в пределах половины номинальной погрешности соответствующего класса точности. Опасность возникновения больших вариаций возрастает при увеличении высоты наконечника, т. е. при переходе к шунтам на большие токи. Наибольшая неравномерность токораспределения возникает при симметричном отключении токоподводящих шин с обеих сторон шунта, как показано на рис. 1-б.

Если на шунте, включенном в цепь по схеме (рис. 1-а), возникает падение напряжения  $V_1$ , а при любом другом включении, например, как на рис. 1-б, падение напряжения будет  $V_2$  при том же токе, то величина вариации определится, как

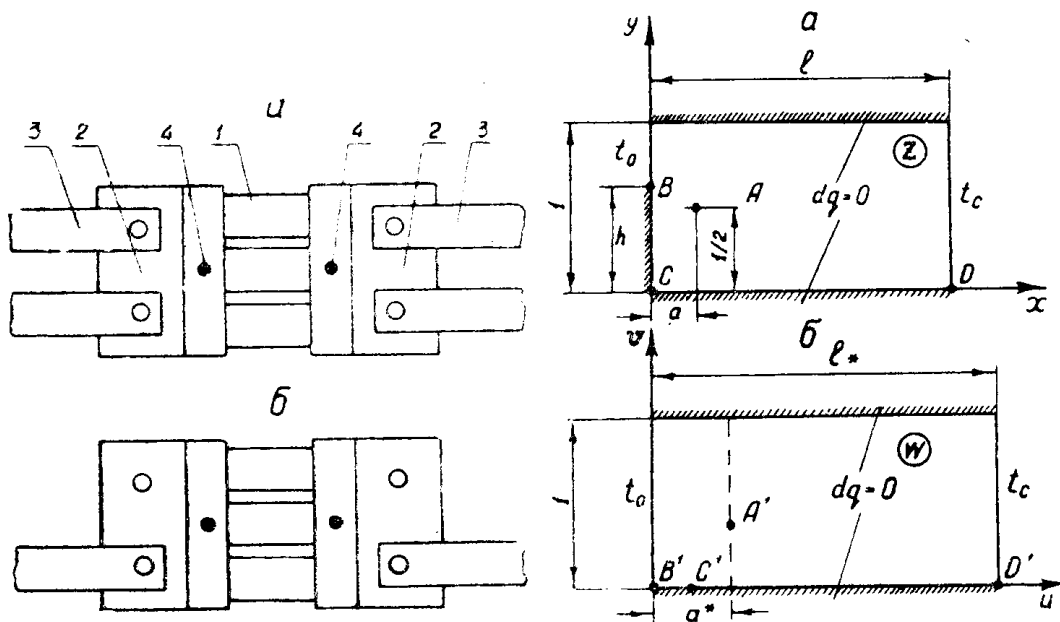


Рис. 1. а — равномерный токоподвод, б — неравномерный токоподвод.  
1 — пластина, 2 — наконечник, 3 — токоподводящая шина, 4 — потенциальный зажим.

Рис. 2.

$$\Delta V = \frac{V_2 - V_1}{V_1} 100\%.$$

Для теоретического исследования вариации шунта примем упрощенную схему (рис. 2-а), которую получили, исходя из следующих предпосылок:

1. В месте подсоединения токоподводящей шины ( $x=0$ ,  $0 < y < h$ ) будем считать потенциал постоянным и равным  $t_0$ .

2. Ввиду того, что шунт и токоподводы симметричны относительно поперечной оси шунта, можно рассматривать только одну половину и считать, что в середине шунта ( $x=l$ ) потенциал одинаков и равен  $t_c$ .

3. Потенциальный зажим изображен на рис. 2-а координатами  $(a, 1/2)$ .

4. Высота шунта принята равной единице.

Таким образом, задача сводится к нахождению потенциала в области, данной на рис. 2-а.

Для решения задачи применим метод конформных отображений. Функция

$$W = \frac{z}{\pi} \operatorname{arth} \left\{ \cos \frac{\pi h}{2} \sqrt{\operatorname{th}^2 \frac{\pi z}{2} + \operatorname{tg}^2 \frac{\pi h}{2}} \right\} \quad (1)$$

отображает рассматриваемую область плоскости  $z$  на бесконечную полосу  $0 \leq v \leq 1$  плоскости  $W$  (рис. 2-б) [1].

Распределение потенциала в этой полосе дается формулой

$$t = t_0 - \frac{t_0 - t_c}{l^*} u. \quad (2)$$

Длина шунта  $l$  переходит в  $l^*$ , расстояние от потенциального зажима до места подключения шин  $a$  переходит в  $a^*$ , точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  переходят при преобразовании в соответствующие точки:  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$ .

Учитывая, что для определения вариации характерен режим постоянства тока, получаем величину вариации при переходе от  $h=0$  к некоторой величине  $h$  (рис. 2)

$$\Delta V = \frac{(l^* - l) - (a^* - a)}{l}. \quad (3)$$

Длина  $l^*$  находится из (1)

$$l^* = \frac{2}{\pi} \operatorname{arth} \left\{ \cos \frac{\pi h}{2} \sqrt{\operatorname{th}^2 \frac{\pi l}{2} + \operatorname{tg}^2 \frac{\pi h}{2}} \right\} \quad (4)$$

Так как при больших значениях  $l$  находить величину  $l^*$  затруднительно, предлагается упрощенный способ определения разности  $l^* - l$ . Для этого формулу (4) преобразуем к виду

$$\operatorname{th}^2 \frac{\pi l^*}{2} = \cos^2 \frac{\pi h}{2} \operatorname{th}^2 \frac{\pi l}{2} + \sin^2 \frac{\pi h}{2}. \quad (5)$$

Заменяя гиперболический тангенс при больших значениях  $l$  его приближенным значением

получаем

$$\operatorname{th}^2 \pi l \cong 1 - 4e^{-\pi},$$

$$l^* - l = -\frac{1}{\pi} \ln \cos^2 \frac{\pi h}{2}. \quad (6)$$

Для определения новой абсциссы потенциального зажима воспользуемся функцией (1) и найдем ее действительную часть  $Re(W)$  при  $x = a$ ,  $y = 1/2$ . Эту величину находим через ряд последовательных удобных для расчета операций:

$$a^* = \frac{1}{\pi} \ln \frac{\sqrt{1 + P^2 - 2R}}{1 - \sqrt{2(P+R) + P}}, \quad (7)$$

где

$$P = \sqrt{R^2 + S^2}, \quad (8)$$

$$R = \sin^2 \frac{\pi h}{2} + \cos^2 \frac{\pi h}{2} M, \quad (9)$$

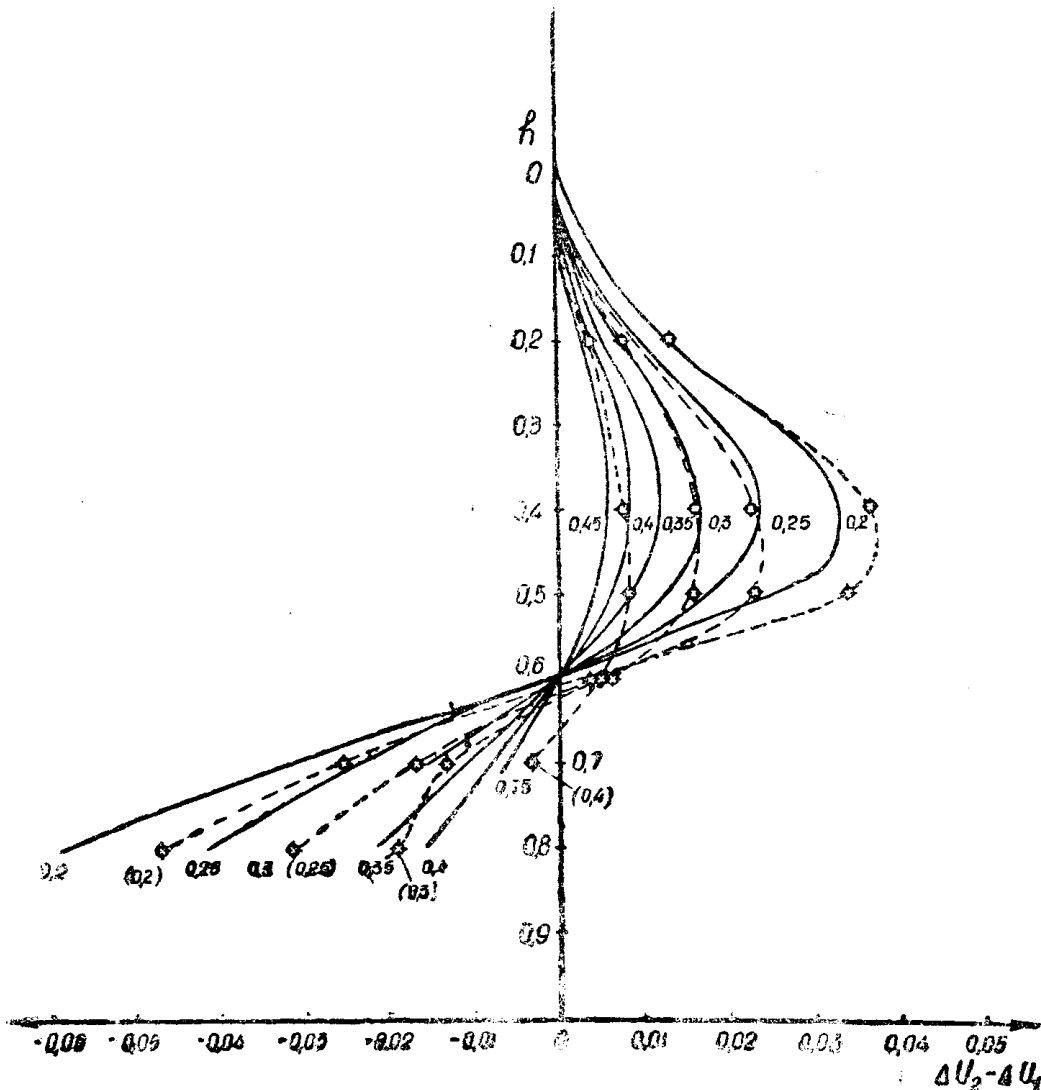


Рис. 3.

$$S = \cos^2 \frac{\pi h}{2} N. \quad (10)$$

$$M = \frac{\operatorname{sh}^2 \pi a - 1}{\operatorname{sh}^2 \pi a + 1}, \quad (11)$$

$$N = \frac{2 \operatorname{sh} \pi a}{\operatorname{sh}^2 \pi a + 1}. \quad (12)$$

По формулам (3) - (12) подсчитаны вариации шунта общей длиной 100 единиц при различных величинах  $a$  и  $h$ . Результаты расчета проведены на рис. 3 сплошными линиями.

Для проверки полученных выше зависимостей были поставлены опыты, основанные на электрической аналогии потенциальных полей. Модель шунта вырезалась из электропроводной бумаги, имеющей сопротивление около 300 ом/м. Полоска бумаги шириной 200 мм, имеющая длину 1214 мм, зажималась между двумя медными массивными токоподводами, один из которых мог передвигаться по ширине полоски. При помощи этого передвижения имитировались различные величины  $h$ . В процессе опыта поддерживалось постоянное значение тока. Измерение вариации производилось при помощи щупа, устанавливаемого на различные расстояния  $a$  от подвижного токоподвода.

Результаты опытов, рассчитанные на длину шунта, равную 100 ед., нанесены на рис. 3 в виде точек. Как видно из рисунка, опытные значения достаточно точно подтверждают аналитическую зависимость (3).

Рассматривая рис. 3, можно отметить:

1. На шунте могут возникать как положительные, так и отрицательные значения величины вариаций.
2. Имеется максимум положительной вариации, лежащий в пределах  $h = 0,4 \div 0,45$ .
3. Вблизи  $h = 0,6$  вариация переходит через нуль.
4. Отрицательные вариации достаточно большой величины имеют место при  $h > 0,75$ .
5. Максимум вариации резко уменьшается при увеличении расстояния  $a$ , т. е. расстояния от потенциального зажима до места подключения токоподводящих шин.

### Выводы

Имеется возможность оценить величины вариации шунта и дать рекомендации к уменьшению этих величин до нормальных размеров, не выходящих за пределы требований стандарта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьев М. А., Шабат Б. С. Методы теории функций комплексного переменного, Гостехиздат, 1951.