

# **Метод определения напряжения пробоя микropиксельных лавинных фотодиодов**

**Х. И. Абдуллаев<sup>1</sup>, Р. М. Мухтаров<sup>1</sup>, З. Я. Садыгов<sup>2</sup>, А. В. Сиделев<sup>3</sup>,  
А. И. Титов<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup> – Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджан**

**<sup>2</sup> – ОИЯИ, Московская обл., Дубна, Россия**

**<sup>3</sup> – Всероссийский НИИ автоматики, Москва, Россия**

## **Обоснование методики**

**Микропиксельные лавинные фотодиоды (МЛФД), также известные как кремниевые фотоэлектронные умножители или микропиксельные счетчики фотонов (по-английски, Micro Pixel Photon Counters – MPPC) широко обсуждаются в научной литературе.**

**Необходимость разработки новых методов определения характеристик МЛФД вызвано тем, что их конструкция и принцип работы значительно отличаются от традиционных лавинных фотодиодов (ЛФД).**

**В данной работе приведена простая инженерная методика для определения параметров МЛФД. Предложенная методика основывается на использовании известной эмпирической формулы Миллера, связывающей коэффициент умножения фотоприемника с величиной приложенного напряжения**

## Основа методики

Для лучшего совпадения расчетной зависимости коэффициента лавинного умножения  $M$  от приложенного к фотодиоду напряжения  $U_d$  с экспериментальными данными нами предлагается использовать следующую модификацию формулы Миллера, учитывающую падение напряжения на последовательном сопротивлении электрической цепи прибора

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U_{pn}}{U_{br}}\right)^k}$$

где  $U_{pn} = U_d - J_t \times R_0$

К сожалению, непосредственное использование этой формулы практически неудобно для определения напряжения пробоя. Поэтому далее мы получим на ее основе упрощенное инженерное соотношение, позволяющее определить указанные параметры МЛФД.

## Вывод рабочих формул

Полный ток  $J_t$  лавинного фотодиода в рабочем режиме можно выразить как

$$J_t = M \cdot (I_d + I_{ph}) \quad M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U_{pn}}{U_{br}}\right)^k}$$
$$U_{pn} = U_d - J_t \times R_0$$

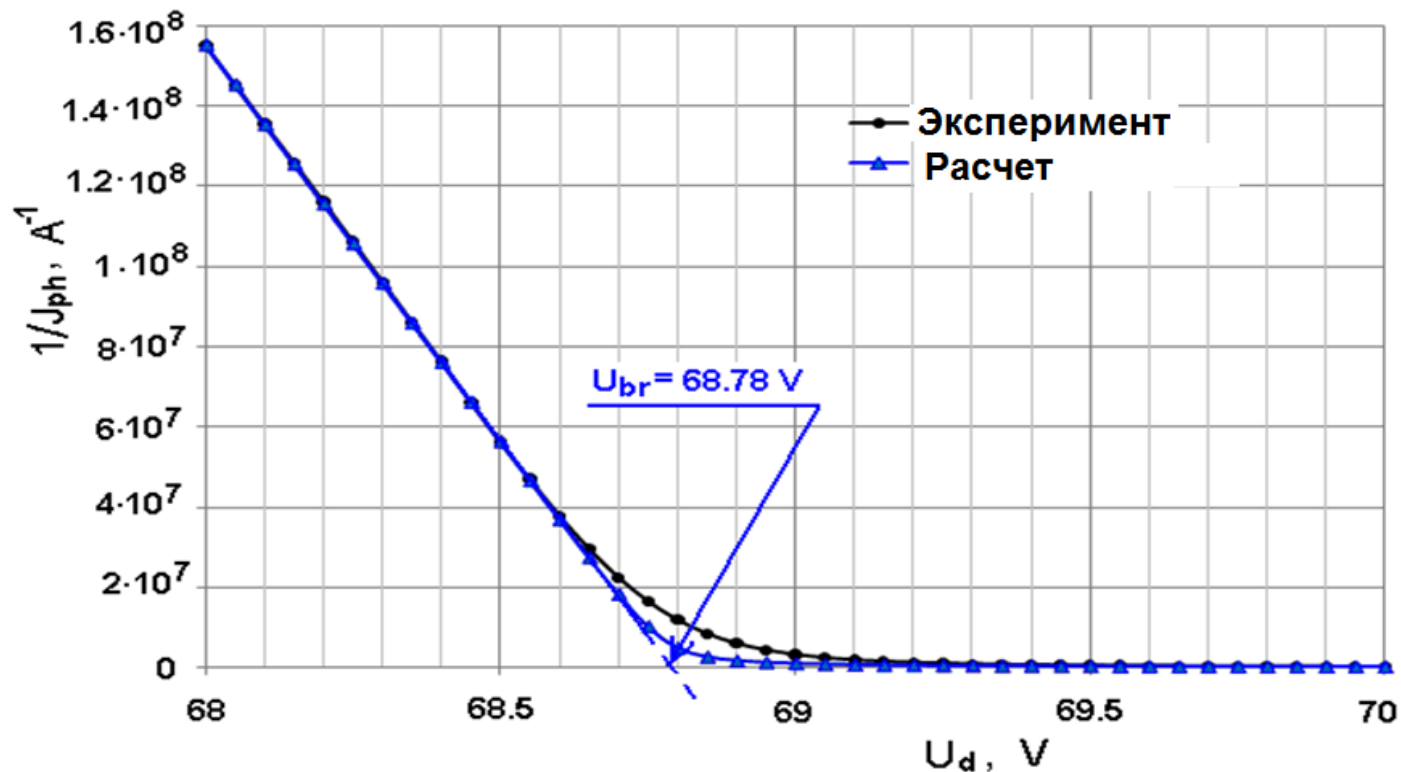
При  $M \gg 1$ ,  $I_{ph} \gg I_d$  и  $[(U_{br} - U_{pn}) / U_{pn}] \ll 1$  можно получить следующие рабочие формулы:

$$\frac{1}{J_{ph}} = \frac{k}{I_{ph} U_{br}} \cdot (U_{br} - U_d) \quad \text{при } U_d < U_{br}$$

$$J_{ph} = \frac{(U_d - U_{br})}{R_0} \quad \text{при } U_d > U_{br}$$

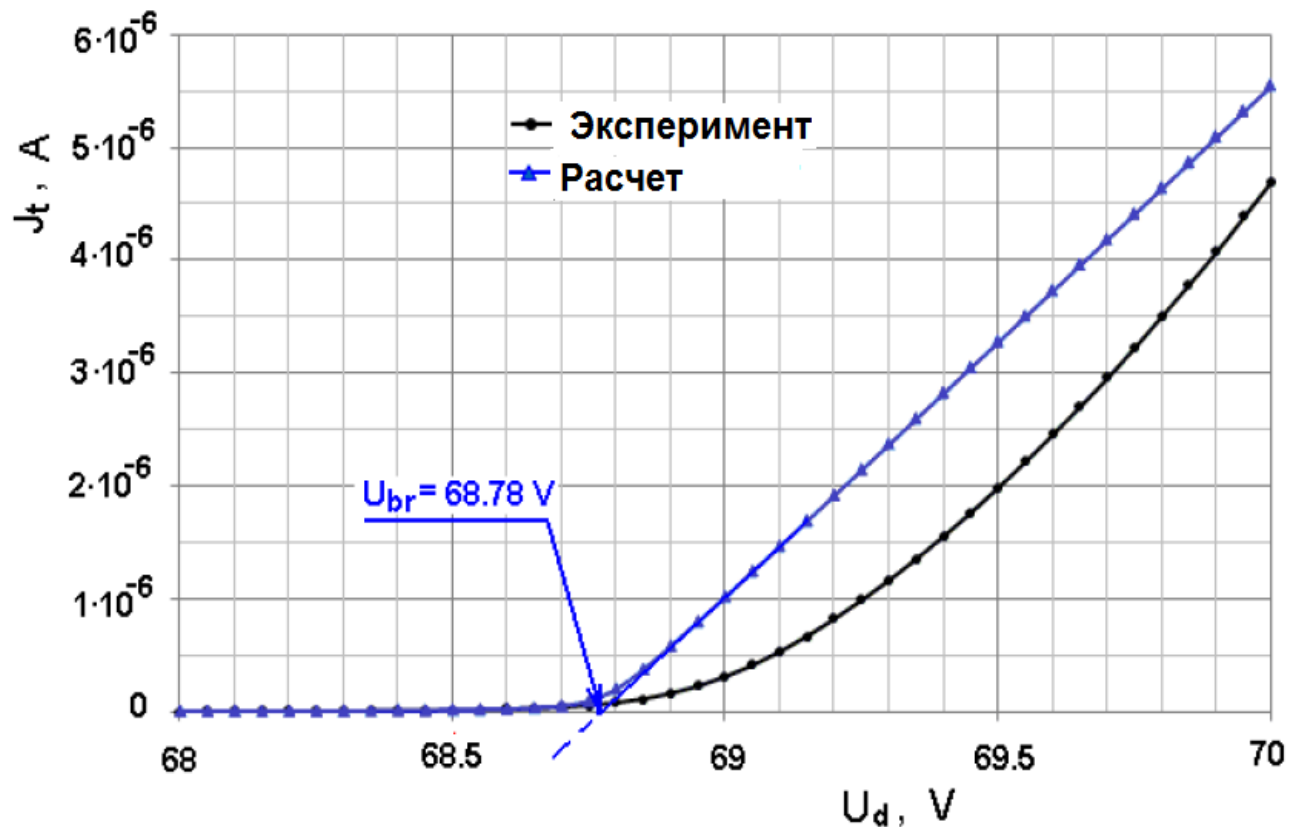
## Сравнение с экспериментальными данными

В качестве экспериментального образца для проверки выше указанной методики был выбран микропиксельный лавинный фотодиод *S10362-11-025U* от фирмы Hamamatsu. Прибор имел рабочую площадь  $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ , на которой располагались 1600 пикселей с размерами  $25\text{ мm}\times 25\text{ мm}$ .



# Сравнение с экспериментальными данными

MPPC – “S10362-11-025U “ from Hamamatsu



## Сравнение с экспериментальными данными MPPC – “S10362-11-025U “ from Hamamatsu

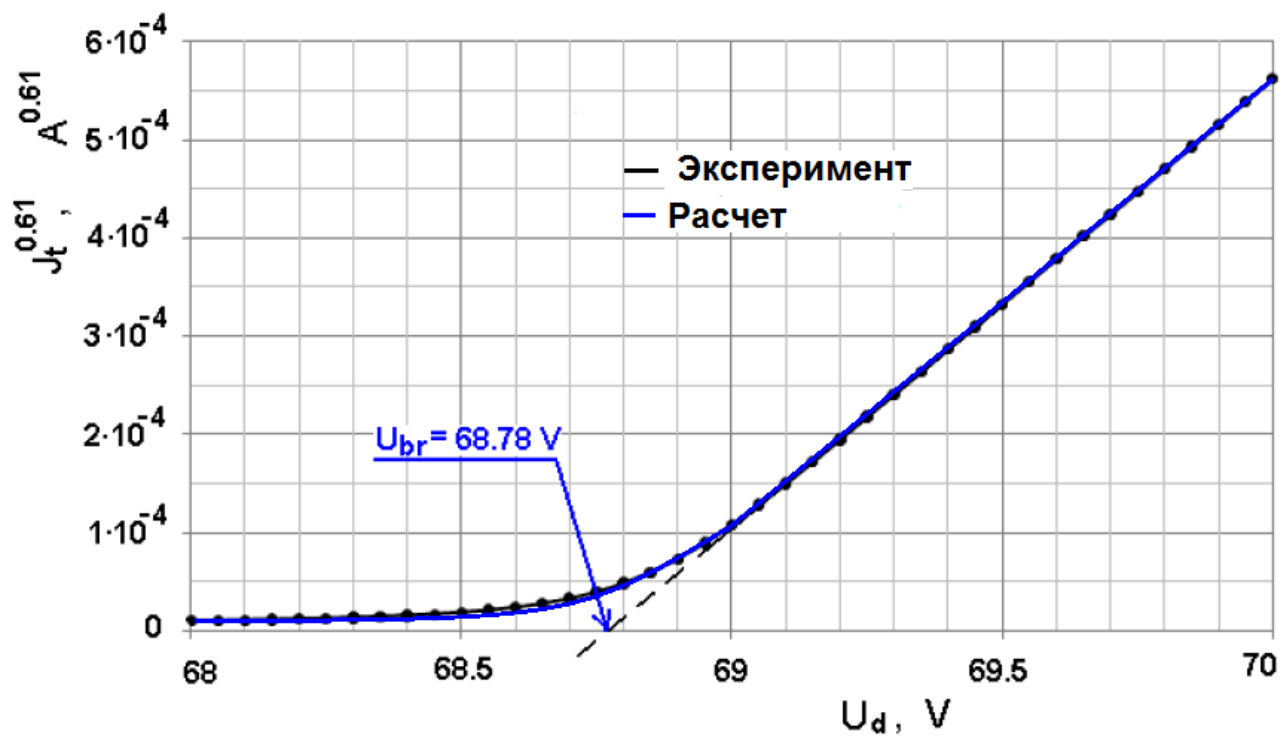
В области напряжений  $U_d > U_{br}$  расчетные и экспериментальные кривые существенно отличаются. Здесь формула Миллера дает линейную зависимость фототока от величины  $U_d$ , а экспериментальная кривая имеет форму, близкую к параболической зависимости.

Это связано тем, что при фиксированной мощности света число сработавших пикселей увеличивается пропорционально величине  $U_d - U_{br}$ , и поэтому эффективная проводимость  $\sigma = (I/R_0)$  в цепи прибора увеличивается с ростом величины  $U_d - U_{br}$ . Если зависимость величины  $\sigma$  от приложенного напряжения представить (разложить) в виде степенного ряда  $A + B \cdot (U_d - U_{br})$ , то можно получить выражение

$$J_{ph} = \frac{(U_d - U_{br})}{R_0} \sim (U_d - U_{br})^\delta$$

где  $2 > \delta > 1$ ,  $A$  и  $B$  – коэффициенты разложения.

Это означает, что если экспериментальные данные, приведенные на предыдущем рисунке перестроить в виде функции  $\sqrt[0.61]{J_{ph}} \sim U_d$  то должна быть область линейной зависимости, экстраполяция которой пересекает ось  $X$  в точке  $U_{br}$ .





**Таким образом, предложен и экспериментально проверен простой метод определения напряжения пробоя МЛФД.**

**Спасибо за внимание!**