

93-195



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

P1-93-195

О.П.Гаврищук, Р.В.Еремеев, М.Г.Кадыков,  
В.К.Семенов\*, А.Б.Шалыгин, А.Н.Юкаев

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ КОМПЕНСАЦИИ  
ФЛУКТУАЦИЙ ПРОДОЛЬНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УТЕЧЕК КАЛОРИМЕТРОВ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

---

\*Институт физики высоких энергий, Протвино

1993

В работе /1/ проанализированы факторы, определяющие энергетическое разрешение адронного калориметра АК-600. Было показано, что величина вклада флуктуаций продольного развития адронного ливня в разрешение калориметра зависит от прозрачности световода-смещителя спектра (WLS). В случае экспоненциального описания затухания света прозрачность световода обычно характеризуется длиной затухания света  $-\lambda_{WLS}$ . Так, при величине  $\lambda_{WLS} \leq 2$  метра вклад этих флуктуаций в энергетическое разрешение становится сравним с вкладом, определяемым статистическими флуктуациями для адронов с  $E \approx 40$  ГэВ. Исследования зависимости энергетического разрешения калориметра /2/ от длины затухания света в световоде показали, что имеется некоторый оптимум в разрешении для световодов с  $\lambda_{WLS} \approx 3$  м. Такое поведение отклика калориметра возможно в случае неполного поглощения энергии каскада (толщина поглотителя АК-600 4,7 ядерных длин). Это привело нас к идее о возможности улучшения энергетического разрешения адронного калориметра неполного поглощения путём компенсации флуктуаций продольного вытекания ливня за счёт использования световодов со специально подобранными характеристиками. Таким образом, задача сводится к определению функциональной зависимости эффективности светосбора световода по его длине, позволяющей оптимальным образом компенсировать флуктуации продольных утечек ливня.

На регистрируемое энергосодержание в калориметре конечной длины оказывают влияние следующие факторы:

- продольное энергосодержание в ливне  $dE/d\xi$  - каскадная кривая;
- эффективность светосбора  $w(z)$  спектросмещающего световода по глубине калориметра  $z$ ;
- флуктуации точки первого взаимодействия  $x$ .

В дальнейшем координаты вдоль направления развития адронного каскада будут выражаться в ядерных длинах  $t_0$ .

Продольное дифференциальное энергосодержание адронного ливня определяется в соответствии с формулой /3/:

$$\frac{dE}{d\xi} = E * [k_1 \xi^3 \exp(b\xi) + k_2 \exp(c\xi)], \quad (1)$$

где  $E$  (ГэВ) - энергия частицы,  $\xi$  - расстояние от точки конверсии.

$$b = -19,5/t_0; \quad c = \{-0,67 - 0,166 \ln(E/50)\}/t_0;$$

$$k_1 = (0,13/6) * b^4; \quad k_2 = (1 - 0,13) * c.$$

Таким образом, регистрируемое энерговыделение  $A$  в зависимости от координаты точки конверсии  $x$  можно представить в виде:

$$A(x) = \int_0^{L-x} \{dE(\xi)/d\xi\} * W(x+\xi) d\xi, \quad (2)$$

где  $L$  - длина калориметра.

Среднее энерговыделение  $\langle A \rangle$  адронного ливня в калориметре с учётом распределения координаты точки первого взаимодействия  $x$  можно записать в следующем виде:

$$\langle A \rangle = \int_0^L A(x) * \exp(-x) dx / \int_0^L \exp(-x) dx. \quad (3)$$

В случае калориметра неполного поглощения регистрируемое энерговыделение сильно зависит от глубины образования адронного ливня, что отрицательно сказывается на энергетическом разрешении калориметра. Уменьшение сигнала  $A$ , вызываемое продольными утечками энергии адронного ливня, можно компенсировать за счёт увеличения эффективности светосбора к концу калориметра. Для этого функция  $W(z)$  выбиралась в виде:

$$W(z) = A_1 * \{1 + A_3 * \exp[-(L-z)/A_2]\}, \quad (4)$$

где  $A_1, A_3$  - искомые параметры, определяемые из условия минимальной зависимости регистрируемого энерговыделения  $A$  (2) от точки образования адронного ливня. Такая функция приводит к эффективному увеличению сигнала на конце калориметра пропорционально его уменьшению, вызванному продольными утечками ливня. Значения параметров в (4), оптимизированных для адронов с энергиями в диапазоне от 10 до 40 ГэВ при различных длинах калориметров, приведены в таблице 1.

В дальнейшем сравнение различных характеристик калориметров будет проводиться для энергии адронов  $E=40$  ГэВ.

Применение оптимизированных световодов приводит к эффективному выравниванию средней амплитуды сигнала по длине калориметра. И тогда отклик в таком калориметре практически не зависит от флуктуаций точки первого взаимодействия, что и показано линией 2 на рис.1 для калориметра длиной  $L \approx 3t_0$ .

Средняя амплитуда сигнала  $\langle A \rangle$  в зависимости от длины калориметра показана на рис.2. Видно, что для достижения полного

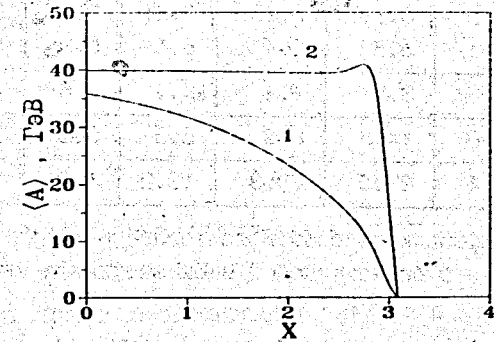


Рис.1. Зависимость регистрируемого энерговыделения  $A$  адронов с энергией 40 ГэВ в калориметре длиной  $\approx 3t_0$  от координаты точки первого взаимодействия  $X$ :

- 1 - световод с бесконечной длиной затухания  $\lambda_{WLS} = \infty$ ;
- 2 - оптимизированный световод

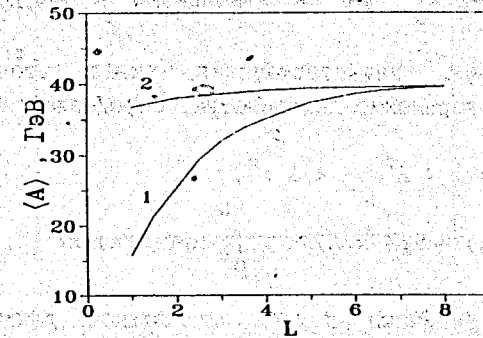


Рис.2. Зависимость среднего энерговыделения  $\langle A \rangle$  адронов с энергией 40 ГэВ в калориметре от его полной длины  $L$ :

- 1 - световод с  $\lambda_{WLS} = \infty$ ; 2 - оптимизированный световод

Таблица 1

L (яд. дл.)	1	2	3	4	5	6	7
A <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	1	1
A <sub>2</sub> (яд. дл.)	0.26	0.29	0.25	0.26	0.24	0.23	0.28
A <sub>2</sub> (см)	5.63	6.3	5.4	5.6	5.2	5.1	6.2
A <sub>3</sub>	3.4	3.8	4.4	4.1	4.6	4.6	3.8
σ <sub>A</sub> / <A>, % <sup>1)</sup>	26.6	14.3	8.3	5.3	3.2	2.5	1.3
σ <sub>A</sub> / <A>, % <sup>2)</sup>	39.4	27.5	19.3	13.2	8.8	5.7	3.6

- 1) - для оптимизированного световода согласно (4);  
 2) - для световода с бесконечной длиной затухания света ( $\lambda_{WLS} = \infty$ ).

поглощения энергии адронов требуется калориметр с  $L \approx 6t_0$ . Однако применение компенсирующих световодов позволяет эффективно регистрировать частицы калориметром с  $L \approx 3t_0$ .

Зависимость <A> от энергии адрона ( $E=10 \div 100$  ГэВ) для калориметров различной длины и с различными световодами показана на рис.3. Видно, что калориметр с  $L \approx 3t_0$  и с оптимизированным световодом имеет линейный отклик по энергии, как и в случае калориметра с  $L \approx 6t_0$ , но со световодом с бесконечной длиной затухания света.

Дисперсия <A>, характеризующая вклад утечек ливня в энергетическое разрешение калориметра, определяется по формуле:

$$\sigma_A = \sqrt{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}, \quad (5)$$

$$\text{где } \langle A^2 \rangle = \int_0^L A(x)^2 \cdot \exp(-x/\lambda) dx / \int_0^L \exp(-x/\lambda) dx.$$

Зависимость величины  $\sigma_A / \langle A \rangle$  от полной длины калориметра показана на рис.4. В диапазоне энергий  $10 \div 100$  ГэВ величина  $\sigma_A / \langle A \rangle$  практически не зависит от энергии первичного адрона (рис.5). Применение скомпенсированного световода аналогично использованию калориметров вдвое большей длины и световодов с бесконечной длиной затухания.

Описанная выше методика оптимизации зависимости  $W(z)$  светопропускания спектросмещающего световода была нами применена в реальных экспериментальных условиях. Полученный результат

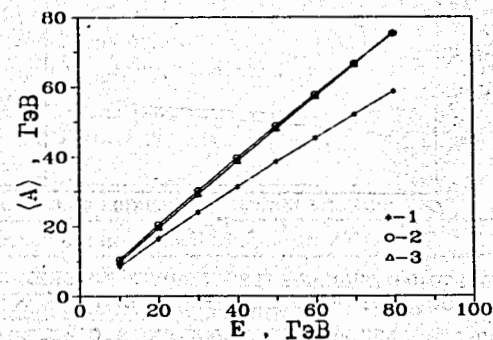


Рис.3. Зависимость среднего энергывыделения <A> в калориметре от энергии E первичного адрона:

- 1 - для калориметра длиной  $3t_0$  и световода с  $\lambda_{WLS} = \infty$ ;  
 2 - для калориметра длиной  $6t_0$  и световода с  $\lambda_{WLS} = \infty$ ;  
 3 - для калориметра длиной  $3t_0$  и оптимизированного световода

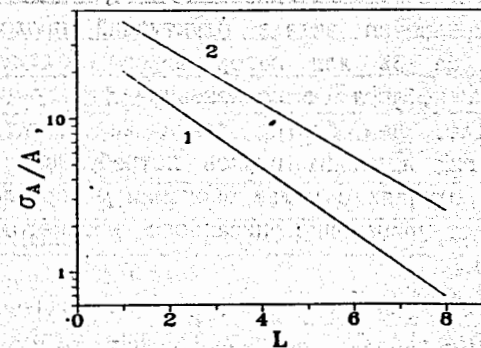


Рис.4. Вклад в энергетическое разрешение калориметра величины  $\sigma_A / \langle A \rangle$  в зависимости от его длины L для адронов с энергией 40 ГэВ:

- 1 - для световода с  $\lambda_{WLS} = \infty$ ;  
 2 - для оптимизированного световода

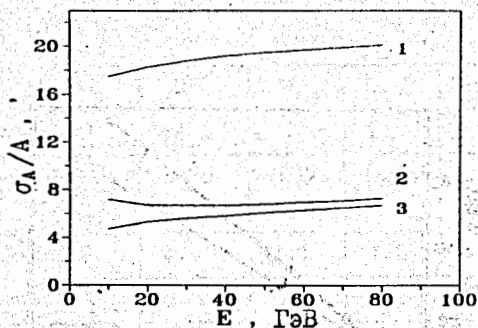


Рис.5. Вклад в энергетическое разрешение калориметра величины  $\sigma_A / \langle A \rangle$  в зависимости от энергии  $E$  первичного адрона:

- 1- для калориметра длиной  $3t_0$  и световода с  $\lambda_{WLS} = \infty$ ;
- 2- для калориметра длиной  $3t_0$  и оптимизированного световода;
- 3- для калориметра длиной  $6t_0$  и световода с  $\lambda_{WLS} = \infty$ .

подтвердил предварительные расчёты. Для прототипа калориметра АК-600 /2/ для адронов с энергией 40 ГэВ наблюдалось улучшение полного энергетического разрешения по сравнению с аналогичным калориметром /4/ примерно на 2% (с 14,5% до 12,7%). Это соответствует уменьшению вклада флуктуаций продольных утечек  $\sigma_A / \langle A \rangle$  примерно на 5% для калориметров с  $L=4,7t_0$  (рис.4). Конечно, величина эффекта от компенсации флуктуаций продольных утечек тем меньше, чем больше длина калориметра. Однако с увеличением энергии адронных пучков потребуются калориметры с  $L=6 \div 10t_0$ . В этих случаях с целью экономии материала поглотителя целесообразно будет применение описанного выше метода компенсации утечек.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М.Г.Кадиков, В.К.Семёнов. Препринт ОИЯИ P1-91-36, Дубна, 1991.
2. O.P.Gavrishchuk, R.V.Eremeev, M.G.Kadykov et al. Preprint JINR E1-92-101, Dubna, 1992.
3. E.Bernardi. Preprint DESY F1-87-01, Hamburg, 1987.
4. А.Н.Алеев, Л.Александров, В.П.Баландин и др. Препринт ОИЯИ P1-89-434, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 мая 1993 года.