

УДК 537.311

**КАЛИБРОВКА АБСОЛЮТНОЙ ШКАЛЫ ЭНЕРГИИ СТРУИ  
НА УСТАНОВКЕ CMS (LHC) С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕССА  $W \rightarrow q\bar{q}$   
В  $pp$ -СТОЛКНОВЕНИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ  $\sqrt{s} = 7$  ТэВ**

А.Р. ТУМАСЯН

Национальная научная лаборатория им. А.И. Алиханяна

(Поступила в редакцию 2 марта 2012 г.)

Выполнена калибровка абсолютной шкалы энергии струи в эксперименте CMS с использованием событий с топ-кварками, включающих процесс распада  $W$ -бозона на два легких кварка ( $u, d, s, c$ ). Используются экспериментальные данные по  $pp$ -столкновениям при  $\sqrt{s} = 7$  ТэВ, соответствующие интегральной светимости  $3 \text{ фб}^{-1}$ . Калибровка выполняется для калориметрических, “Jet-Plus-Track” и “Particle-Flow” струй. Статистические погрешности калибровки, как и систематические неопределенности метода находятся в пределах 3%.

В работе представлены результаты из диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

### 1. Введение

Дефицит измеренной энергии адронных струй, собираемых различными алгоритмами, с использованием как реконструированных энергий, выделенных в ячейках калориметров, так и параметров треков заряженных частиц, достигает в эксперименте CMS нескольких десятков процентов [1,2]. Это требует введения поправок на измеренные энергии струй. Поправки могут быть получены с использованием физических процессов, в которых энергии струи и других регистрируемых объектов связаны однозначными соотношениями [3-6]. Примером таких процессов является рождение адронных струй при распаде  $W$ -бозона в однолептонных  $t\bar{t}$ -событиях, когда рождаемые в жестком процессе  $pp$ -столкновения  $t$ -кварки распадаются на  $b$ -кварки и  $W$ -бозоны, один из которых распадается на мюон и нейтрино, а второй – на два легких кварка:

$$pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow bW^+ \bar{b}W^- \rightarrow b\mu\bar{\nu}_\mu \bar{b}q\bar{q}. \quad (1)$$

Методика калибровки энергии струи с помощью таких событий и ее систематические погрешности детально анализировались путем Монте-Карло моделирования в работе [6]. В настоящей работе выполнена коррекция энергии струи данной методикой с использованием экспериментальных данных, полученных в  $pp$ -столкновениях при  $\sqrt{s} = 7$  ТэВ.

Анализ выполнен на примере анти- $kt$  кластерного алгоритма поиска

струй [7] с радиусным параметром  $R = 0.5$  в  $\eta$ - $\phi$ -пространстве. Рассмотрены три типа струй, используемых в эксперименте CMS, различающиеся включаемыми в них объектами, реконструированными разными детекторами: калориметрические струи (реконструируемые по энергиям, выделенным в башнях калориметров), “Jet-Plus-Track” струи [8] и “Particle-Flow” струи [9].

Для анализа событий использовались программы полного GEANT4 моделирования и реконструкции событий в детекторе CMS: CMSSW версии 4.2.4 patch2. Моделирование событий осуществлялось с использованием генератора PYTHIA 6.24 и программы CMSSW версии 3.8.6.

## 2. Отбор событий

В расчетах использовались события из указанных в табл.1 наборов данных, отобранные триггерами HLT-isoMu17-v2 (данные 2011A) и HLT-isoMu24-v9 (данные 2011B), содержащие изолированные мюоны с псевдобыстротой  $|\eta^\mu| < 2.5$ . На момент проведения анализа эти события являлись наиболее статистически значимыми среди пригодных для калибровки выборок.

Табл.1. Наборы данных, использованных при анализе.

Набор данных	Интегральная светимость, $\text{fb}^{-1}$
/SingleMu/Run2011A-PromptReco-v4/RECO	0.847
/SingleMu/Run2011B-PromptReco-v1/RECO	2.192

Для анализа отбирались события при следующих условиях:

- Наличие первичной вершины взаимодействия (“PV”), реконструированной с более чем тремя треками, с координатами относительно точки взаимодействия  $|z| < 24$  см вдоль направления пучка и  $|\rho| < 2$  см вдоль направления, перпендикулярного пучку.
- Наличие четырех или более "Particle-Flow" струй с поперечными энергиями больше 20 ГэВ в области псевдобыстрот  $|\eta^{\text{jet}}| < 3$ .
- Наличие только двух калориметрических  $b$ -струй (для идентификации  $b$ -струй использовался алгоритм trackCountingHighEffBJetTags [10] с ограничением на дискриминатор  $\text{Disc} > 3$ ) с поперечными энергиями больше 15 ГэВ.
- Наличие дефицита поперечной энергии (Particle-Flow missing  $E_T$ )  $E_T^{\text{missing}} > 10$  ГэВ.
- Наличие изолированного, одиночного мюона с поперечной энергией больше 17 ГэВ (данные 2011A) или 24 ГэВ (данные 2011B).

Эти условия подбирались из требования наибольшего подавления фоновых событий при сохранении достаточного для калибровки количества отобранных событий. Для повышения идентификации струй от распада  $W$ -бозона использовались дополнительные условия: в качестве таких струй брались струи с наибольшими поперечными энергиями, идентифицированные как не  $b$ -струи разность псевдобыстрот которых  $\Delta\eta < 1.5$  (отметим, что струя идентифициру-

ется как не  $b$ -струя, если в пределах конуса  $R = 0.3$   $\eta$ - $\phi$ -пространства ей соответствует струя из коллекции trackCountingHighEffB-Jet Tags с поперечной энергией больше 15 ГэВ и с ограничением на дискриминатор  $\text{Disc} < 1.7$ ),

### 3. Объекты калибровки

В качестве рекомбинационной схемы (правил объединения элементов струи) в эксперименте CMS используется  $E$ -схема [11]. При этом, в отличие от  $E_T$ -схемы, реконструированные струи получаются массивными (инвариантная масса всех частиц струи). 4-импульс такой струи можно представить в следующем виде:

$$P_\mu = (p_T \cos \phi, p_T \sin \phi, p_T \sinh \eta, E_T \cosh \eta). \quad (2)$$

Коррекцию вектора  $P_\mu$  принято осуществлять одной мультипликативной поправкой  $k_{\text{jet}}$  на все его компоненты [1] (назовем такую коррекцию “ $P_\mu$ ”-калибровкой). При этом, так как энергия и импульс массивной струи не завязаны однозначным отношением, то такая калибровка не будет вполне корректна, если не учитывать зависимость поправки одновременно от поперечной энергии и импульса струи:

$$P_\mu^{\text{corr}} = P_\mu / k_{\text{jet}}, \quad k_{\text{jet}} = k_{\text{jet}}(E_T, p_T, \eta), \quad (3)$$

где  $P_\mu^{\text{corr}}$  – 4-импульс струи после коррекции. Последнее обстоятельство существенно усложняет процедуру калибровки и требует ее упрощения.

Применяемый в настоящей работе метод позволяет выполнить отдельно калибровку энергии (“ $E$ ”-калибровка) и импульса (“ $P$ ”-калибровка) струи:

$$\text{“}E\text{”-калибровка: } E_T^{\text{corr}} = \frac{E_T}{k_{\text{jet}}(E_T, \eta)}; \quad \text{“}P\text{”-калибровка: } p_T^{\text{corr}} = \frac{p_T}{k_{\text{jet}}(p_T, \eta)}. \quad (4)$$

### 4. Калибровочные соотношения

Установка абсолютной шкалы энергии струи состоит в определении калибровочного коэффициента для перехода от измеренной поперечной энергии струи  $E_T$  к поперечной энергии партона-родителя струи (в данном случае кварка)  $E_T^q$ :

$$k_{\text{jet}}^{\text{true}}(E_T, \eta) = E_T / E_T^q. \quad (5)$$

Коррекция энергии струи с помощью событий (1) основана на сравнении инвариантной массы откалиброванных струи от распада  $W$ -бозона ( $m_{jj}^{\text{corr}}$ ) с массой  $W$ -бозона [6,12]:

$$m_{jj}^{\text{corr}} = m_W. \quad (6)$$

При этом для расчета инвариантной массы струй от распада  $W$ -бозона ( $m_{jj}$ ) используются следующие выражения:

$$m_{jj}^2 = E_{1T} E_{2T} f_{jj}^2 (1 + \delta_m^E + o(\delta)) \text{ или } m_{jj}^2 = p_{1T} p_{2T} f_{jj}^2 (1 + \delta_m^P + o(\delta)), \quad (7)$$

где

$$f_{jj}^2 = 2(\cosh(\eta_1 - \eta_2) - \cos(\varphi_1 - \varphi_2)), \quad (8)$$

$$\delta_m^E = \delta_m^P - \delta_0, \quad \delta_m^P = \left( \frac{m_1^2}{E_1} + \frac{m_2^2}{E_2} \right) \frac{E_1 + E_2}{(E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2)^2}, \quad \delta_0 = \frac{1}{2} \left( \frac{m_1^2}{E_1^2} + \frac{m_2^2}{E_2^2} \right), \quad (9)$$

где  $E_1, E_2, E_{1T}, E_{2T}$  – энергии и поперечные компоненты энергий струй,  $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, p_{1T}, p_{2T}$  – импульсы и поперечные компоненты импульсов,  $\eta_1, \eta_2, \varphi_1, \varphi_2$  – псевдобыстроты и азимутальные углы,  $m_1, m_2$  – массы первой и второй измеренной струи от распада  $W$ -бозона. Отметим, что учет поправок высших порядков  $o(\delta)$  сохраняет  $\delta_m^E$  и  $\delta_m^P$  в пределах статистической ошибки.

В соответствии с (4), (6) и (9) можно написать

$$m_{jj}^{\text{corr}} = f_{jj} \sqrt{E_{1T} E_{2T}} / \sqrt{k_{\text{jet}}(E_{1T}, \eta_1) k_{\text{jet}}(E_{2T}, \eta_2)} = m_W (1 - \delta_m^E / 2) \approx m_W. \quad (10)$$

Систематическая погрешность этого соотношения составляет  $\delta_m^E / 2 \sim 3\%$ . Его вклад в калибровочные коэффициенты учитывается с помощью поправок, которые рассчитываются путем Монте-Карло моделирования.

Аналогичное соотношение можно написать для “ $P$ ”-калибровки и для “ $P_\mu$ ”-калибровки.

## 5. Поправки шкалы энергии струи

Количество отобранных событий не позволяет с достаточной точностью найти значения  $k_{\text{jet}}(E_T, \eta)$  в отдельных интервалах по поперечным энергиям и псевдобыстротам струй. Поэтому зависимость калибровочных коэффициентов от поперечных энергий и псевдобыстрот струй учитывалась с помощью поправки  $C_{MC}(E_T, \eta)$ :

$$k_{\text{jet}}(E_T, \eta) = k_0 C_{MC}(E_T, \eta), \quad (11)$$

которая определялась путем Монте-Карло моделирования.

Результаты расчетов калибровочных коэффициентов  $C_{MC}(E_T, \eta)$  в отдельных интервалах по поперечной энергии и псевдобыстроте струй для “ $E$ ”-калибровки представлены на рис.1. Аппроксимацией значений этих коэффициентов в фиксированных интервалах по псевдобыстроте струй получим калибровочные кривые, которые позволяют сделать Монте-Карло поправку при произвольных значениях поперечной энергии и псевдобыстроты струй. В случае калориметрических струй зависимость  $C_{MC}$  от  $E_T$  в каждом интервале  $\eta_i$  аппроксимировалась функцией

$$C_i(E_T) = A_1 + A_2 \ln((E_T + A_3)/A) - A_4/(E_T + A_0); \quad i = 1, 2, \dots, 26 \quad (12)$$

при фиксированных  $A = 1$  ГэВ и  $A_0 = 20$  ГэВ (рис.2а). В случае “Particle-Flow” и “Jet-Plus-Track”-струй использовалась функция

$$C_i(E_T) = B_1 + B_2 \exp((B - E_T)/B_3) - B_4/(E_T + B_0); \quad i = 1, 2, \dots, 26 \quad (13)$$

при фиксированных  $B = 100$  ГэВ и  $B_0 = 20$  ГэВ (рис.2б). Значения  $A_1 - A_4$  и  $B_1 - B_4$  определяются в каждом отдельном интервале. С учетом определений отдельных параметров, суммарная погрешность параметризации составляет  $\sim 2.5\%$  для калориметрических струй,  $\sim 0.5\%$  для Particle-Flow-струй и  $\sim 1.5\%$  для "Jet-Plus-Track"-струй (рис.3). Коэффициенты для произвольных абсолютных значений псевдобыстрот определялись соотношением

$$C_{MC}(E_T, \eta) = \left. \begin{cases} \frac{C_i(E_T)(\eta_{i+1} - \eta) + C_{i+1}(E_T)(\eta - \eta_{i-1})}{\eta_{i+1} - \eta_i}, & \eta_i < \eta < \eta_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, 25 \\ C_1(E_T), & \eta < \eta_1, \\ C_{26}(E_T), & \eta \geq \eta_{26}, \end{cases} \right\} \quad (14)$$

где  $\eta_i - \eta$ -координата середины башни с номером  $i$ .

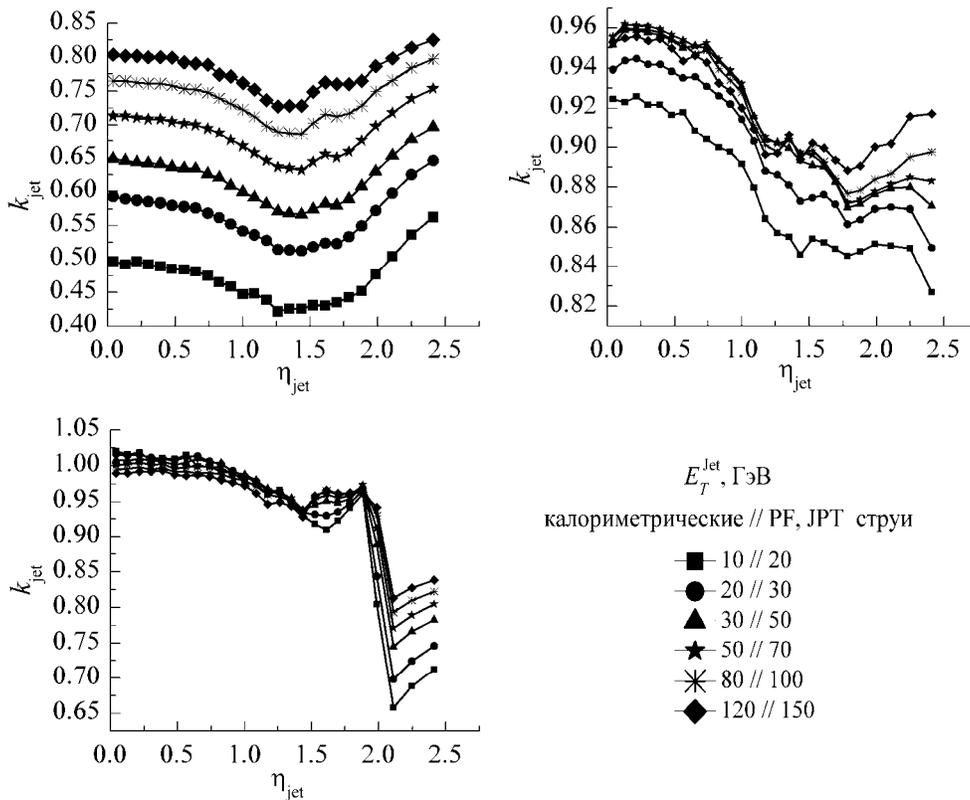


Рис.1. Значения калибровочных коэффициентов в зависимости от псевдобыстрот струй при разных поперечных энергиях струй. ( $E_T = 10, 20, \dots, 120$  ГэВ в случае калориметрических струй (а) и  $E_T = 20, 30, \dots, 150$  ГэВ в случаях "Particle-Flow" (б) и "Jet-Plus-Track" струй (в)).

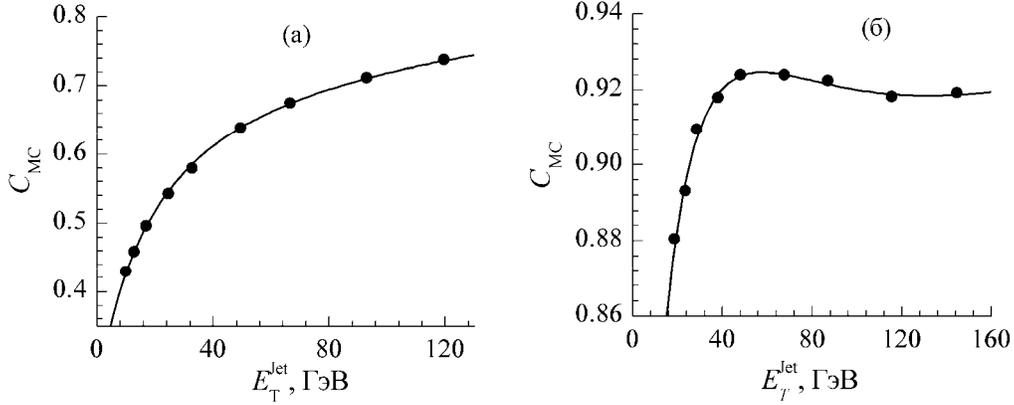


Рис.2. Зависимость калибровочных коэффициентов  $C_{MC}$  от поперечной энергии струи и аппроксимация функциями (12) и (13), соответственно, для калориметрических (а) и “Particle-Flow” струй (б).

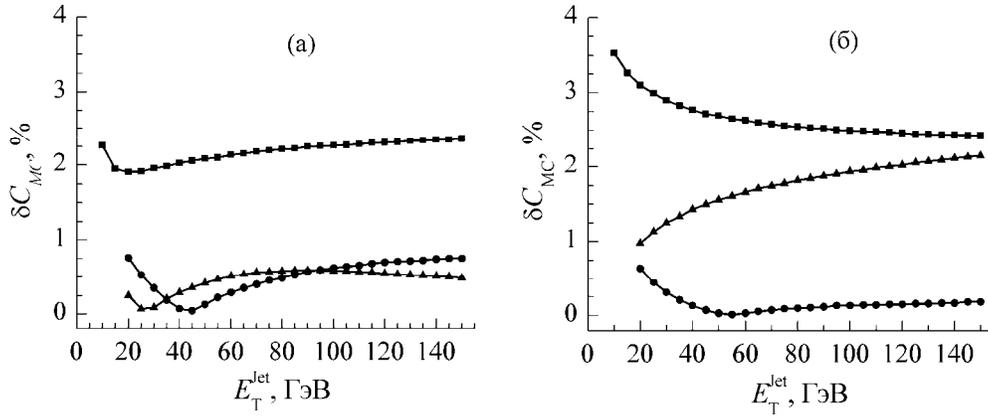


Рис.3. Погрешности калибровочных коэффициентов  $C_{MC}$  в зависимости от поперечной энергии струй при  $\eta = 0$  (а) и  $\eta = 2$  (б).

Значения коэффициентов  $C_{MC}$  для “E”-калибровки превышают соответствующие значения для “P”-калибровки от 0.1 до 1.8 % (рис.4).

После введения поправок  $C_{MC}$  на поперечные энергии струй с учетом (10) калибровочное соотношение (9) переписывается в виде

$$m_{jj}^{MC}/k_0 = m_W, \text{ где } m_{jj}^{MC} = f_{jj} \sqrt{\left(E_{1T}/C_{MC}(E_{1T}, \eta_1)\right)\left(E_{2T}/C_{MC}(E_{2T}, \eta_2)\right)}. \quad (15)$$

Значение  $k_0$  находится по положению пика спектра инвариантных масс струй от распада  $W$ -бозона использованием экспериментальных данных. Значения  $k_0$  без влияния дополнительных наложенных событий (pile-up) вычисляются путем линейной аппроксимации зависимости  $k_0$  от числа реконструированных вершин ( $N_{PV}$ ):

$$k_0(N_{PV}) = k_0^{noPU} (1 + \alpha(N_{PV} - 1)), \quad (16)$$

где  $k_0^{noPU}$  – значение  $k_0$  без “pile-up”,  $k_0(N_{PV})$  – значение  $k_0$  при среднем количестве “ $N_{PV}$ ” реконструированных вершин (рис.5).

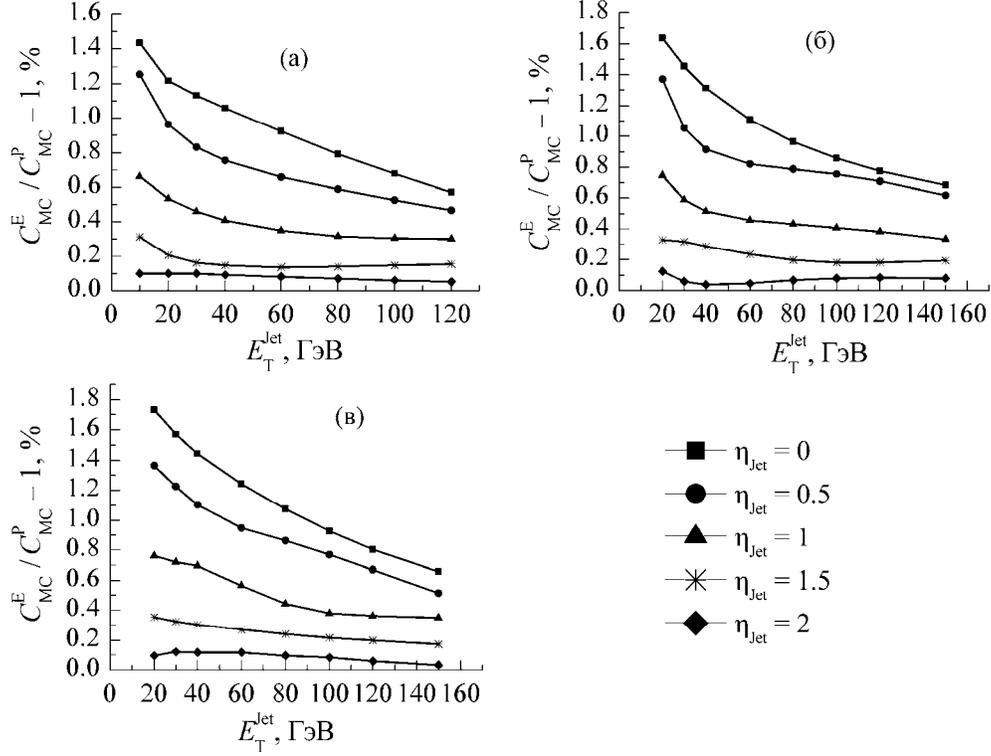


Рис.4. Разница между калибровочными коэффициентами  $C_{MC}$  для “E”- и “P”-калибровок в зависимости от поперечной энергии струи при разных значениях псевдобыстрот для калориметрических (а), “Particle-Flow” (б) и “Jet-Plus-Track” (в) струй.

Калибровка энергии струи на массу  $W$  содержит кроме  $\delta_m^E/2$  ряд других систематических погрешностей, связанных с различными эффектами, детально исследованными в работе [6]. Путем моделирования событий (1) без дополнительных наложенных событий может быть рассчитан результирующий сдвиг  $\Delta k_0$  шкалы энергии струи, обусловленный несовершенством данной методики:

$$\Delta k_0 = k_0^{\text{simul}} - k_{\text{true}}^{\text{simul}}, \quad (17)$$

где  $k_0^{\text{simul}}$  определен на базе моделированных событий с использованием калибровочного соотношения (15), а  $k_{\text{true}}^{\text{simul}}$  определен согласно определению (5) как

$$k_{\text{true}}^{\text{simul}} = \langle E_T / C_{MC}(E_T, \eta) E_T^q \rangle. \quad (18)$$

После введения сдвига  $\Delta k_0$  с учетом коррекции (16) для калибровочных коэффициентов  $k_{\text{jet}}(E_T, \eta)$  согласно определению (11) получим

$$k_{\text{jet}}(E_T, \eta) = k_0^{\text{corr}} C_{MC}(E_T, \eta), \text{ где } k_0^{\text{corr}} = k_0^{noPU} - \Delta k_0. \quad (19)$$

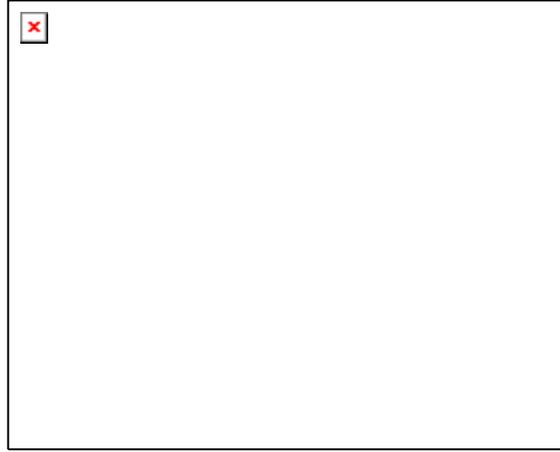


Рис.5. Значения калибровочных коэффициентов  $k_0$  для данных 2011В с различным средним количеством реконструированных вершин ( $N_{PV} = 6.93, 12.59$ ) и значения  $k_0$  в точке  $N_{PV} = 1$ , рассчитанные путем линейной аппроксимации зависимости  $k_0$  от  $N_{PV}$  для калориметрических (квадраты), “Particle-Flow” (кружки) и “Jet-Plus-Track” (треугольники) струй.

Значения полученных коэффициентов  $k_0$  для “E”-, “P”- и “P<sub>μ</sub>”-калибровки на базе экспериментальных данных и данных моделирования представлены в табл.2-4.

Табл.2. Значения коэффициентов  $k_0$  для “E”-калибровки.

Струи	$k_0^{\text{simul}}$	$\Delta k_0$	$k_0^{\text{noPU}}$	$k_0^{\text{corr}}$
“Calo”	$0.975 \pm 0.003$	$-0.020 \pm 0.003$	$0.989 \pm 0.023$	$1.009 \pm 0.026$
“PF”	$0.967 \pm 0.003$	$-0.033 \pm 0.003$	$0.969 \pm 0.024$	$1.002 \pm 0.027$
“JPT”	$0.960 \pm 0.003$	$-0.036 \pm 0.003$	$0.957 \pm 0.023$	$0.995 \pm 0.026$

Табл.3. Значения коэффициентов  $k_0$  для “P”-калибровки.

Струи	$k_0^{\text{simul}}$	$\Delta k_0$	$k_0^{\text{noPU}}$	$k_0^{\text{corr}}$
“Calo”	$0.975 \pm 0.003$	$-0.020 \pm 0.003$	$0.989 \pm 0.022$	$1.009 \pm 0.025$
“PF”	$0.967 \pm 0.003$	$-0.033 \pm 0.003$	$0.976 \pm 0.024$	$1.009 \pm 0.027$
“JPT”	$0.960 \pm 0.003$	$-0.036 \pm 0.003$	$0.954 \pm 0.023$	$0.992 \pm 0.026$

Табл.4. Значения коэффициентов  $k_0$  для “P<sub>μ</sub>”-калибровки.

Струи	$k_0^{\text{simul}}$	$\Delta k_0$	$k_0^{\text{noPU}}$	$k_0^{\text{corr}}$
“Calo”	$1.008 \pm 0.004$	$-0.013 \pm 0.004$	$1.012 \pm 0.020$	$0.999 \pm 0.023$
“PF”	$1.000 \pm 0.003$	$-0.000 \pm 0.003$	$0.998 \pm 0.017$	$0.998 \pm 0.020$
“JPT”	$0.996 \pm 0.003$	$-0.000 \pm 0.003$	$0.974 \pm 0.016$	$0.974 \pm 0.019$

Статистическая погрешность рассчитанных коэффициентов с использованием экспериментальных данных после всех этапов коррекции составляет  $\sim 3\%$ . Систематическая неопределенность методики, связанная с Монте-Карло параметризацией поправок  $C_{MC}(E_T, \eta)$  составляет от 0.5 до 2.5 % для различных типов струй.

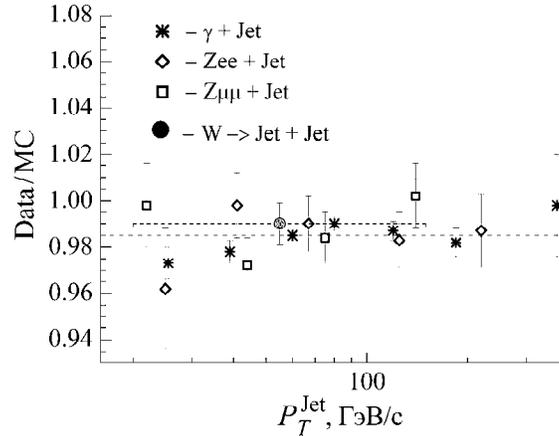


Рис.6. Коэффициенты коррекции абсолютной шкалы энергии струи, измеренные с использованием “ $\gamma + \text{jet}$ ” и “ $Z + \text{jet}$ ” событий [1] и событий  $W \rightarrow \text{jet} + \text{jet}$ .

Полученные значения для калибровочных коэффициентов  $k_0$  хорошо согласуются с результатами калибровки с использованием других физических процессов, выполненных в коллаборации CMS [1] (рис.6).

## 6. Заключение

Путем восстановления инвариантной массы  $W$ -бозона, распадающегося на два кварка в одноюонных  $pp \rightarrow t\bar{t}$ -событиях при  $\sqrt{s} = 7$  ТэВ, установлена абсолютная шкала энергии струи в эксперименте CMS. Расчеты выполнены с использованием Монте-Карло параметризации  $E_T$ - и  $\eta$ -зависимостей шкалы энергии струи на основе экспериментальных наборов данных, соответствующих интегральной светимости  $3 \text{ фб}^{-1}$ .

Калибровка выполнена на примере калориметрических, “Jet-Plus-Track” и “Particle-Flow” струй, реконструированных анти- $kt$  кластерным алгоритмом поиска струй с радиусным параметром  $R = 0.5$ . Калибруемая область включает интервалы по псевдобыстротам  $|\eta| < 2.5$  и по поперечным энергиям  $20 \text{ ГэВ} < E_T < 150 \text{ ГэВ}$ .

Систематическая неопределенность методики, после вычитания поправки, связанной с влиянием дополнительных наложенных событий, и учета систематического сдвига, связанного с калибровочным соотношением, обусловлена только погрешностью Монте-Карло параметризации, которая не превышает 2.5 %.

При наборе достаточной статистики будет возможным сделать калибровку в отдельных интервалах по поперечной энергии и псевдобыстроте струй на базе только экспериментальных данных, что позволит устранить модельную зависимость калибровки.

Полученные значения для калибровочных коэффициентов  $k_0$  хорошо согласуются с результатами калибровки с использованием других физических процессов, выполненных в коллаборации CMS [1].

Автор выражает глубокую благодарность А.М. Сируняну (ННЛ им. А.И. Алиханяна), В.Ф. Конопляникову (ОИЯИ), А.В. Зарубину (ОИЯИ) и С.В. Шматову (ОИЯИ) за оказанную помощь в разработке методики, полезные обсуждения, поддержку и постоянный интерес к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. CMS Collaboration. Determination of Jet Energy Calibration and Transverse Momentum Resolution in CMS. CMS-JME-10-011 (CERN-PH-EP-2011-102, Submitted to JINST) arXiv:submit/0286201 (2011).
2. CMS Collaboration. Jet Reconstruction Performance at CMS. CMS Physics Analysis Summary CMS-PAS-JME-09-007 (2009).
3. **V.Konopliankov, A.Ulyanov, O.Kodolova.** Eur. J. Phys. C, **46**, 37 (2006).
4. **I.A.Golutvin et al.** Phys. Part. Nucl. Lett., **5**, 447 (2008).
5. **J.D'Hondt et al.** Light quark jet energy scale calibration using the  $W$  mass constraint in single-leptonic  $t\bar{t}$  events. CMS NOTE-2006/025 (2006).
6. **I.Altsybeev et al.**, Jet Energy Scale Calibration Using  $W \rightarrow q\bar{q}$  Process. CMS IN-2011/010; Submitted to Phys. Part. Nucl. Lett., 2011.
7. **M.Cacciari, G.P.Salam, G.Suyez.** JHEP, **04**, 063 (2008). arXiv:0802.1189. doi:10.1088/112606708/2008/04/063.
8. CMS Collaboration. Jet Plus Track algorithm for Calorimeter Jet Energy Corrections in CMS. CMS Physics Analysis Summary. CMS-PAS-JME-09-002 (2009).
9. CMS Collaboration. Commissioning of the Particle-Flow Event Reconstruction in Minimum-Bias and jet Events from pp Collisions at 7 TeV. CMS Physics Analysis Summary. CMS-PAS-PFT-10-002 (2010).
10. **A.Rizzi et al.** Track impact parameter based b-tagging with CMS, CMS NOTE 2006/19.
11. **A.Heister et al.** Jet Reconstruction and Performance in the CMS Detector. CMS NOTE 2006/036 (2006).
12. **А.Р.Тумасян.** Изв. НАН Армении, Физика, **46**, 313 (2011).

#### ABSOLUTE JET ENERGY SCALE CALIBRATION IN CMS DETECTOR (LHC) USING $W \rightarrow q\bar{q}$ PROCESS IN $PP$ -COLLISIONS AT $\sqrt{s} = 7$ TeV

A.R. TUMASYAN

The calibration of absolute jet energy scale in CMS experiment at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the  $W$  mass constraint in  $t\bar{t}$  events with  $W \rightarrow q\bar{q}$  decay is made. Data sample with an integrated luminosity of  $3 \text{ fb}^{-1}$  is used. Calibration procedure is made for calorimetric jets, "Jet-Plus-Track" jets, and "Particle-Flow" jets. Statistical errors of calibration as well as systematical uncertainties of the method are up to 3%.

The results are abstracted from degree thesis.