

ИЗМЕРЕНИЕ НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЬ СВЕТИМОСТИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ HF RADMON УСТАНОВКИ CMS

*А. А. Ершов**, *А. М. Грибушин*, *А. И. Демьянов*, *А. А. Каминский*

Научно-исследовательский институт им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва

Система HF RADMON осуществляет контроль радиационных условий в области переднего калориметра установки CMS. Выполнены измерения потоков нейтронов при энергиях 7, 8 и 13 ГэВ, получены оценки эффективности радиационной защиты. Завершена модернизация системы для работы в условиях большой светимости, и подтверждены возможности ее использования в качестве дополнительного люминометра.

Goal of the HF RADMON system is to control the radiation conditions in the CMS forward calorimeter area. Measurements of the neutron fluences at 7, 8 and 13 GeV energies were carried out and an efficiency of the radiation shielding has been estimated. Upgrade of the system to operate at the high luminosity was completed and possibilities to use the system as additional luminometer have been confirmed.

PACS: 29.40.Vj; 29.20.db

1. СИСТЕМА HF RADMON УСТАНОВКИ CMS

Система HF RADMON установки CMS [1], расположенной на Большом адронном коллайдере (ЛHC), предназначена для контроля радиационных условий в области переднего (HF) калориметра установки [2], находящегося в условиях наиболее интенсивного радиационного облучения и одновременно являющегося источником радиации для других субдетекторов. В задачи системы HF RADMON входит постоянное измерение потоков нейтронов и доз ионизирующих излучений с целью оценки вероятной деградации активных элементов установки (ФЭУ, электроники, кварцевых волокон) и контроля эффективности радиационной защиты, а также дополнительный контроль

*E-mail: Alexandre.Erchov@cern.ch

светимости и пучковых условий посредством измерения потоков нейтронов. Система была разработана и создана в 2003–2009 гг. и введена в эксплуатацию при запуске Большого адронного коллайдера.

В настоящее время в состав системы входят детекторы потоков нейтронов (нейтронные мониторы) и ионизационные камеры, предназначенные для измерения доз ионизирующих излучений. В данном докладе представлены сравнительные результаты измерений потоков нейтронов в различных областях установки при энергиях сталкивающихся протонных пучков 7, 8 и 13 ТэВ, выполненных в 2011, 2012 и 2015 гг.

2. НЕЙТРОННЫЕ МОНИТОРЫ СИСТЕМЫ HF RADMON

Для мониторинга нейтронных полей в составе системы используются детекторы нейтронов на основе борированного пропорционального счетчика СНМ-14, снабженного полиэтиленовым модератором (замедлителем) нейтронов. Конструкция счетчика показана на рис. 1. Детектор с модератором толщиной 152 мм обеспечивает детектирование нейтронов с энергиями до 15 МэВ в большом (от 10^{-2} до $10^5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) динамическом диапазоне потоков. Значительная ионизация, производимая в объеме счетчика α -частицами, испускаемыми в реакции $n + {}^10_5\text{B} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + \alpha + 2,79 \text{ МэВ}$, позволяет при уровне дискриминации сигнала 10% работать практически без собственных шумов детектора.

Калибровка нейтронных мониторов осуществлялась в нейтронной лаборатории ЦЕРН [3] в поле референсного Рс–Ве-источника мощностью свыше 10^8 с^{-1} . Калибровочный коэффициент определяется как $k = N_n/N_d$ — число нейтронов/см² на один отчет детектора. Измеренные значения коэффициентов с учетом различий спектров калибровочного источника и спектра

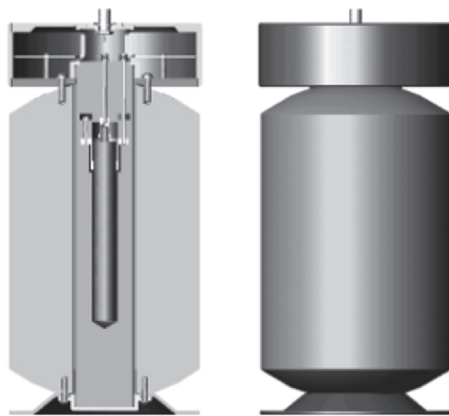


Рис. 1. Конструкция нейтронного монитора системы HF RADMON

в области калориметра, а также с учетом собственной анизотропии детектора составили от 1,35 до 2,49 нейтронов/см²/отсчет. Относительная точность калибровки выше 1 %, в то же время обусловленная неизвестным спектром и угловым распределением нейтронов в экспериментальном зале систематическая ошибка абсолютной калибровки достигает 40 %.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ В ОБЛАСТИ HF КАЛОРИМЕТРА

В сеансах измерений 2010–2012 и 2015 гг. нейтронные мониторы были установлены в «квадрупольной» конфигурации по четыре детектора внутри и вне радиационной защиты калориметра на каждом из двух («плюс» и «минус») концов установки [4]. Система продемонстрировала стабильную работу вплоть до значений светимости ~ 7000 мкб⁻¹/с. Потоки нейтронов приведены в таблице (в зависимости от координат расположения мониторов и энергии сталкивающихся пучков).

При энергии 7 ТэВ показано, что в сеансах измерений 2011 г. использование на калориметре «минус» дополнительного суперпереднего калориметра CASTOR приводило к четырехкратному увеличению фона нейтронов внутри радиационной защиты и двукратному вне ее. Выявлена значительная (до фактора 2) асимметрия нейтронных полей. Эффективность радиационной защиты составила 11–14 без калориметра CASTOR и до 24 с его использованием. Кроме того, подтверждено ожидаемое среднее увеличение потоков нейтронов в 1,5 раза при увеличении энергии от 7 до 13 ТэВ.

x, см	y, см	z, см	Поток нейтронов, см ⁻² /мкб ⁻¹		
			7 ТэВ	8 ТэВ	13 ТэВ
-92	-92	1390	2,52	4,95	4,98
-92	92	1390	2,04	2,32	3,27
92	-92	1390	2,60	2,94	4,09
92	92	1390	2,12	2,43	3,33
-179	-179	1220	0,23	0,26	0,28
-179	179	1220			
179	-179	1220	0,22	0,24	
179	179	1220	0,19	0,21	
-92	-92	-1390	9,35	2,09	3,09
-92	92	-1390	7,71	3,95	4,14
92	-92	-1390	13,76	2,98	4,19
92	92	-1390	8,96	2,40	3,17
-179	-179	-1220	0,43	0,25	0,27
-179	179	-1220			
179	-179	-1220	0,44	0,25	
179	179	-1220	0,35	0,19	

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СВЕТИМОСТИ

Модернизация системы HF RADMON, выполненная в 2013–2014 гг., коснулась прежде всего электроники и программного обеспечения системы и была ориентирована на увеличение быстродействия для эффективной работы при максимальной светимости, а также на включение системы в кластер подсистем контроля пучковых условий установки CMS. Приведенный на рис. 2 отклик нейтронного монитора в процессе настройки сведения пучков при ван-дер-мееровском сканировании иллюстрирует возможность воспроизведения динамики светимости на установке CMS на основе измерения потоков нейтронов от абсорбера переднего калориметра с высокой точностью.

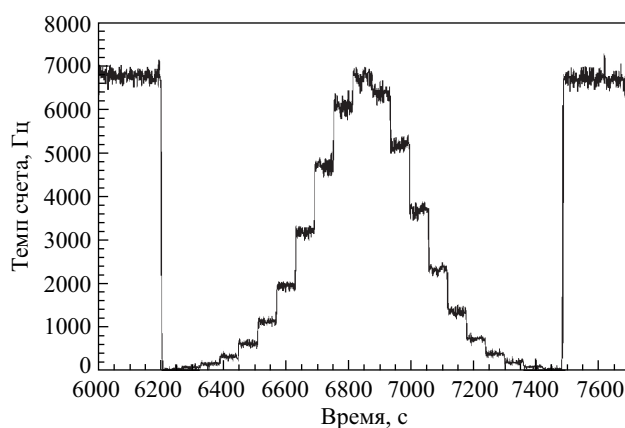


Рис. 2. Отклик нейтронного монитора системы HF RADMON при ван-дер-мееровском сканировании

В части анализа данных по нейтронным полям в области переднего калориметра CMS работа была поддержана грантом РФФИ № 14-12-00110.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *CMS Collab.* // J. Instr. 2008. V. 03. P. S08004.
2. *CMS Collab.* HCAL TDR 1997. CERN-LHCC 97-31.
3. *Carbonez P., Silari M.* CERN-DGS-2011-05-RP-TN. 2002.
4. *Ershov A., Demianov A., Gribushin A., Kaminsky A.* // Proc. of CMS Workshop “Perspectives on Physics and CMS at Very High Luminosity”, Alushta, 2012. CERN-DGS-2011-05-RP-TN. 2013; Dubna: JINR, 2013. P. 236.