О.Л.КОДОЛОВА (ДЛЯ ЛСВ)

Результаты исследований Лаборатории сильных взаимодействий ОЭФВЭ в эксперименте CMS.

Содержание

Работы по поддержанию функционирования детектора и регистрации данных

- Магнит CMS: изучение характеристик и обслуживание
- Удаленный центр по мониторингу и сертификации данных
- Калибровка и мониторинг адронного калориметра
- Радиационные мониторы

Работы по анализу данных

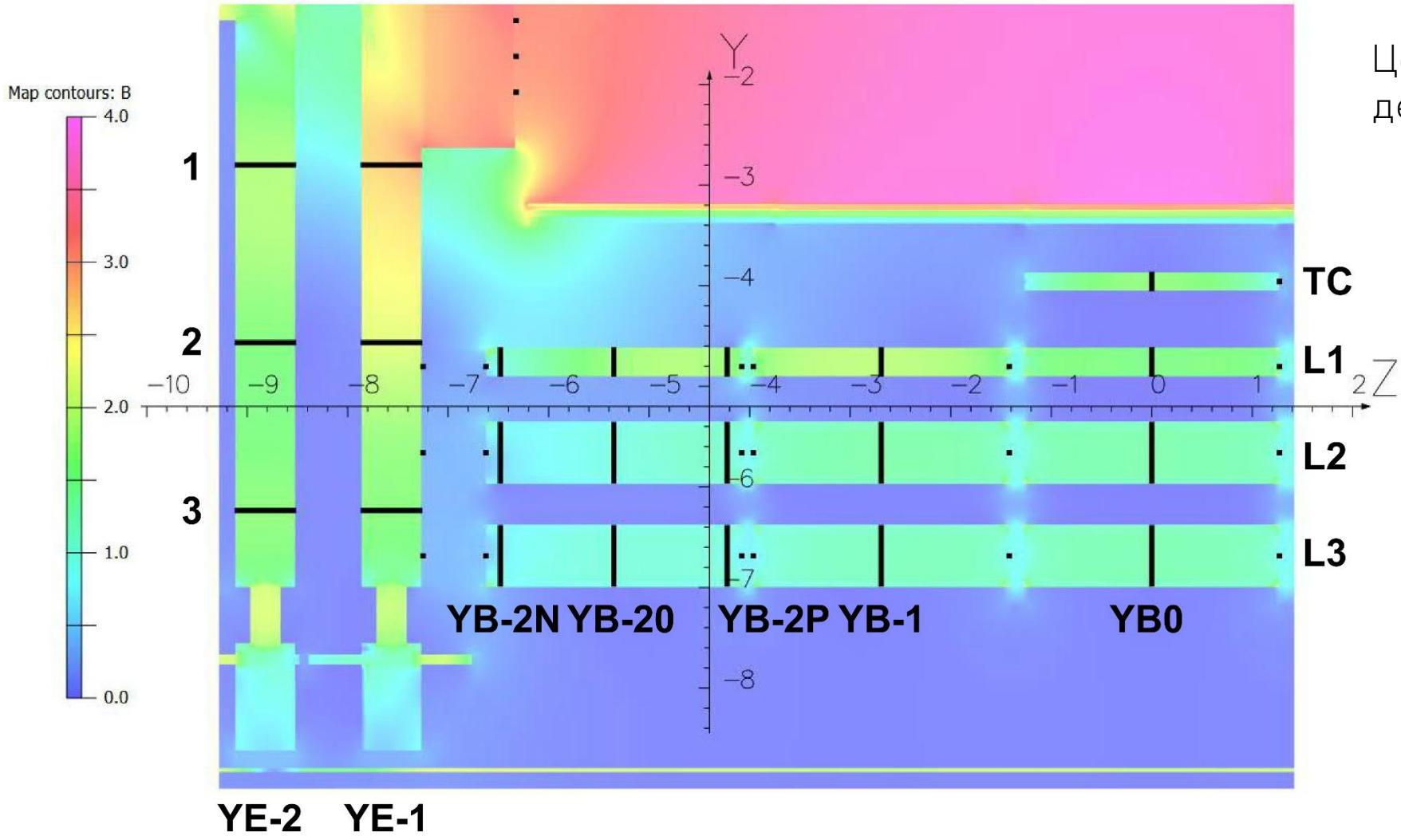
- Многочастичные корреляции в pp-столкновениях при энергии 13 ТэВ
- Поиск резонансов в диапазоне масс димюонов 10-70 ГэВ, рожденных в сопровождении b-струй при энергии 13 ТэВ на данных 2017-2018 гг.

V.Klyukhin et al, Analysis of Measurements of the Magnetic Flux Density in Steel Blocks of the Compact Muon Solenoid Magnet Yoke with Solenoid Coil Fast Discharges, *Symmetry* 2024, *16*, 1689. https://doi.org/10.3390/sym16121689

В данном исследовании выполнена проверка карты магнитного поля компактного мюонного соленоида (CMS) в стальных блоках возвратного ярма магнита, используемых в мюонном спектрометре для заворачивания мюонов.

Для этого были использованы измерения плотности магнитного потока в 22 поперечных сечениях потоковых катушек, установленных на 12 стальных блоках ярма. Семь быстрых разрядов сверхпроводящей катушки CMS с начальных значений тока 9,5, 12,5, 15, 15,221, 17,55, 18,164 и 19,14 кА позволили зарегистрировать сигналы в потоковых катушках, вызванные быстрыми изменениями магнитного потока в сечениях катушек, и восстановить среднюю начальную плотность магнитного потока в поперечных сечениях катушек с помощью автономного интегрирования индуцированных напряжений по времени разряда.

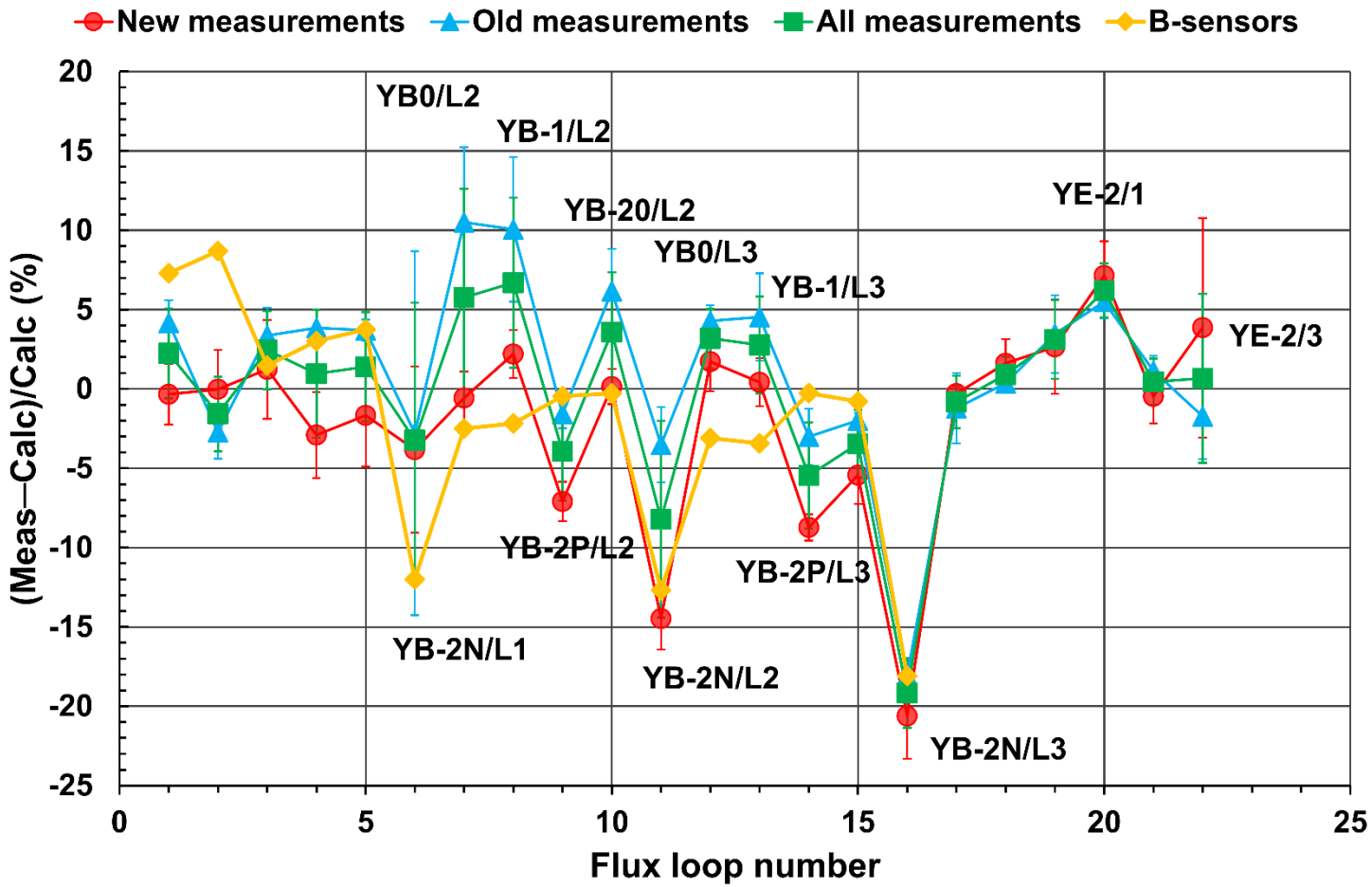
Для оценки вкладов вихревых токов, генерируемых в стальных блоках, в сигналы потоковых катушек применён новый метод. Вклад вихревых токов в сигналы потоковых катушек достигает 18,07 % и уменьшается до менее, чем 1 % для некоторых катушек с ростом начального тока быстрого разряда. Сравнение измеренных и рассчитанных значений плотности магнитного потока в стали показывает их совместность в пределах 3 %. В то же время, распределение плотности магнитного потока внутри сверхпроводящей катушки CMS описывается трехмерной моделью магнита CMS с точностью 0,1 %, что на порядок лучше.



Центральный детектор

Мюонные камеры

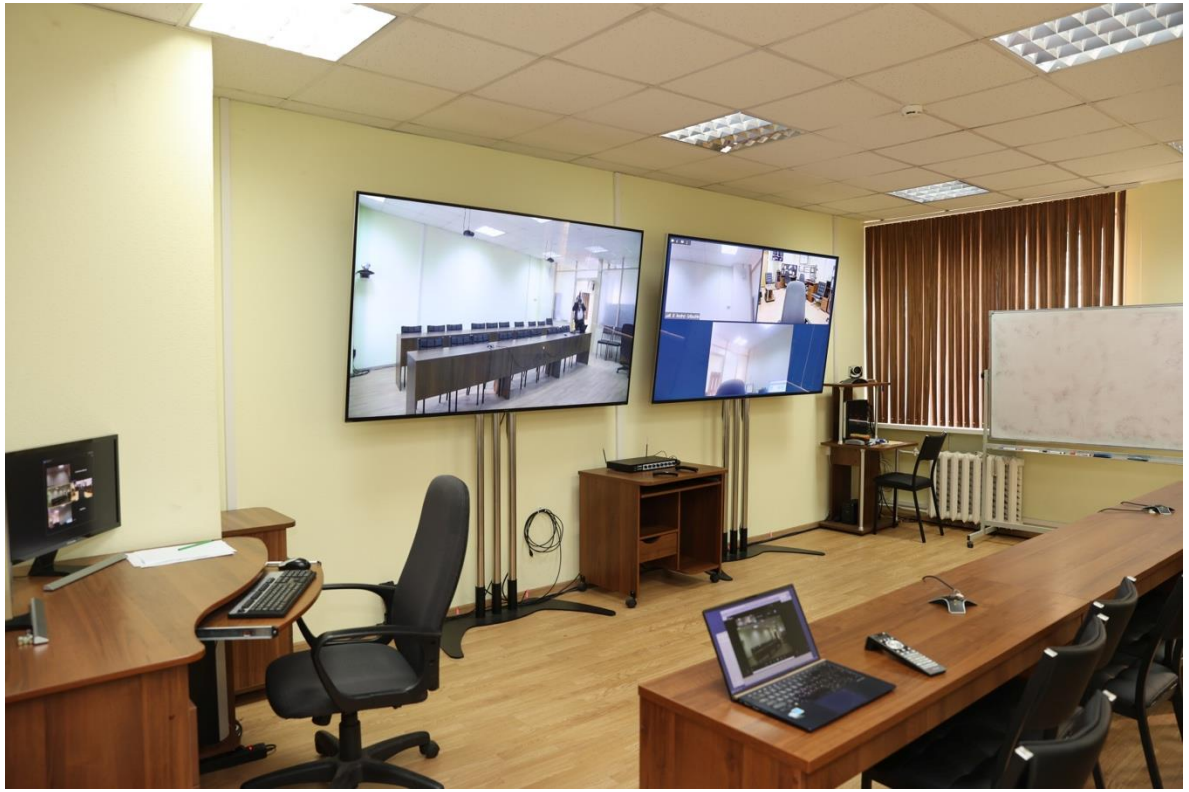
Размещение 22 потоковых катушек (черные линии) и 22 трехмерных B-сенсоров (черные квадраты) на 13 стальных блоках ярма магнита CMS. **Цветовая шкала с** шагом 1 Тл **соответствует интервалу полной плотности магнитного потока от нуля до** 4 Тл.



Сравнение измеренных значений плотности магнитного потока со значениями, рассчитанными с помощью модели магнита **CMS** для каждого из 22 сечений потоковых петель в трех сериях измерений: new – при разрядах с 9,5, 15,221 и 18,164 кА; old – при разрядах с 12,5, 15, 17,55 и 19,14 кА; all – в обеих сериях измерений. Представлено также сравнение измерений аксиальной плотности магнитного потока, выполненных с помощью B-сенсоров, с расчетными значениями. График демонстрирует недостаточно хорошее описание магнитного потока моделью на краю центральной части ярма магнита.

Удалённый операционный центр LHC

С 2016 года в НИИЯФ МГУ функционирует Удалённый операционный центр ускорителя LHC – Remote Operational Center MSU (ROC-MSU), позволяющий дежурным операторам контролировать работу аппаратуры и осуществлять проверку качества и статуса экспериментальной информации, поступающей с установки CMS.



В 2024 году на базе ROC-MSU были проведены DQM дежурства по контролю качества регистрируемых экспериментальных данных (14 восьмичасовых смен) в онлайн-формате. Также непосредственно в ЦЕРНе на установке CMS проведено 68 дежурств (DCS, Shift Leader, HCAL DOC, HCAL Offline).

А.И.Демьянов, А.М.Грибушин, А.А.Ершов, В.И.Клюхин, С.В.Образцов, С.В.Петрушанко

Удалённый операционный центр LHC

Кроме того, телекоммуникационные возможности центра ROC-MSU используются для проведения научных и научно-административных семинаров и рабочих совещаний в режиме видеоконференций, для организации учебного процесса в онлайн-формате, а также для мероприятий по популяризации науки.

В 2024 году в рамках марафона **НЕДЕЛЯ АТОМА 2024** в центре ROC-MSU была проведена экскурсия для студентов начальных курсов, а в рамках **Всероссийского фестиваля НАУКА 0+** – экскурсия для детей и их родителей.

Калибровка и мониторинг работы адронного калориметра CMS

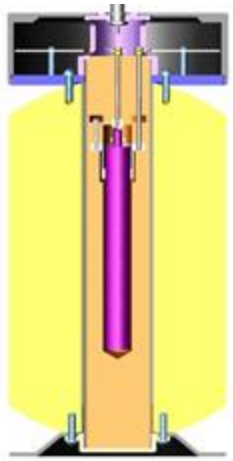
- В течение 2024 года проводилась калибровка адронного калориметра: выравнивание отклика адронного калориметра в зависимости от азимутального угла. Работа проводилась совместно с коллегами из ИТЭФа. Новые коэффициенты включены в калибровочную базу.
- В течение 2024 года проводился мониторинг работы адронного калориметра с использованием локальных запусков LED и снятие сигнала без пучка (шум). Также проводилась сертификация данных, полученных адронным калориметром CMS с помощью разработанного экспертного пакета RMT/CMT.

https://cms-hcal-dpg.web.cern.ch/cms-hcal-dpg/HcalRemoteMonitoring/RMT/

https://cms-hcal-dpg.web.cern.ch/cms-hcal-dpg/HcalRemoteMonitoring/CMT/

О. Кодолова (НИИЯФ МГУ) и Н.Личковская, А.Жокин (ИТЭФ)

Система GFPC-1 (HF RadMon) мониторинга нейтронных потоков на установке CMS

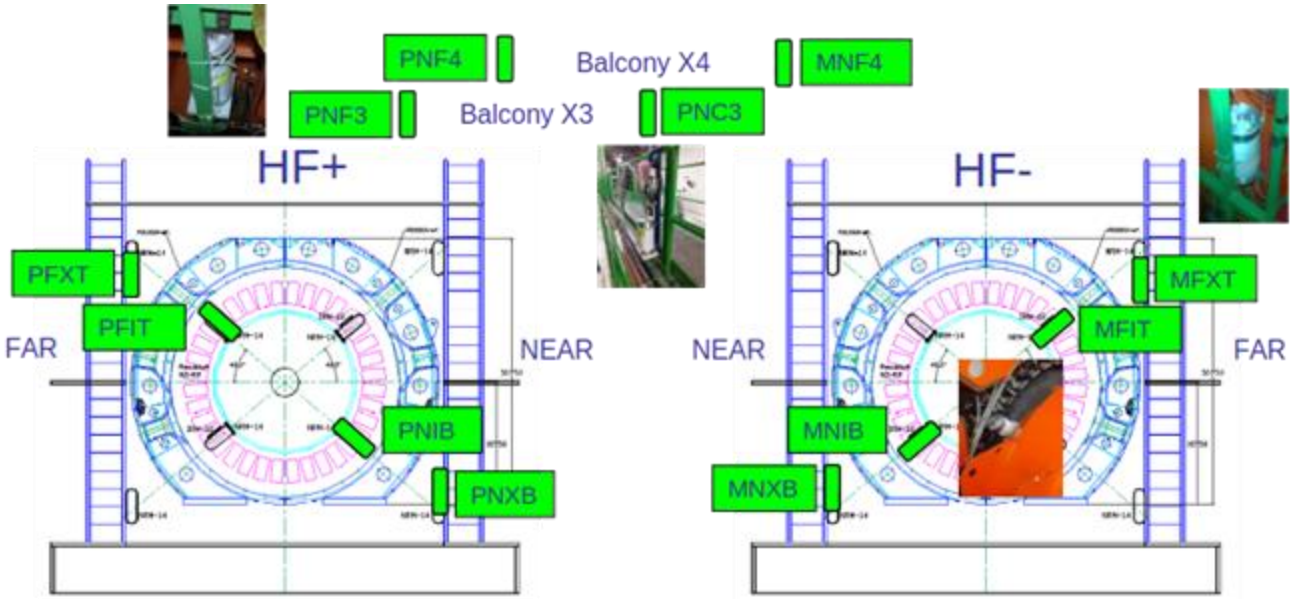


Нейтронный монитор

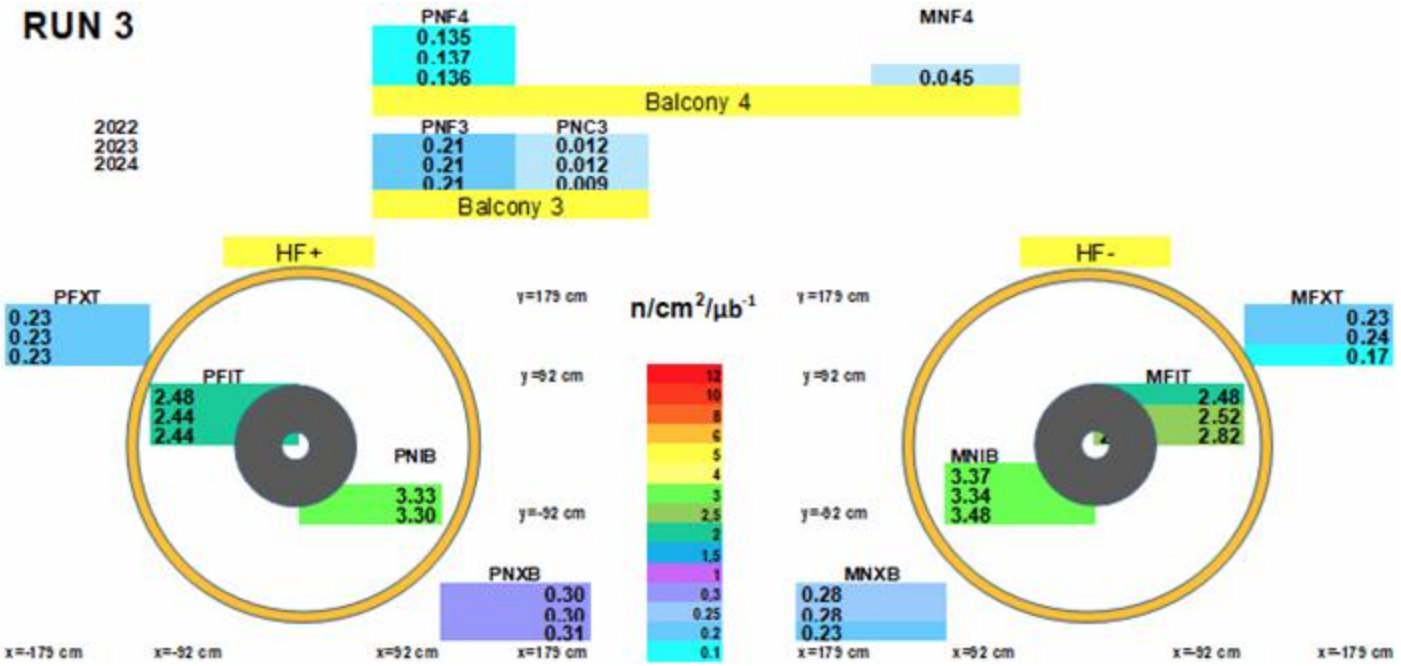
- Сенсор – борированный пропорциональный счетчик, заполненный аргоном
- Сенсор окружен цилиндрическим полиэтиленовым модератором, обеспечивающим замедление нейтронов до тепловых энергий
- Регистрация нейтронов основана на реакции ^{10}B (n,α) ^{7}Li
- Диапазон энергий регистрируемых нейтронов до 20 МэВ

Первичная цель системы – мониторинг эффективности защиты переднего адронного калориметра (HF) эксперимента CMS, функционирующего в экстремальных радиационных условиях

В дальнейшем (перед RUN3) система была расширена на балконы каверны эксперимента CMS для прогнозирования радиационной обстановки в ходе модернизации эксперимента и критической проверки результатов моделирования радиационной обстановки для условий HL LHC



Мониторинг нейтронных потоков в UXC CMS в RUN3

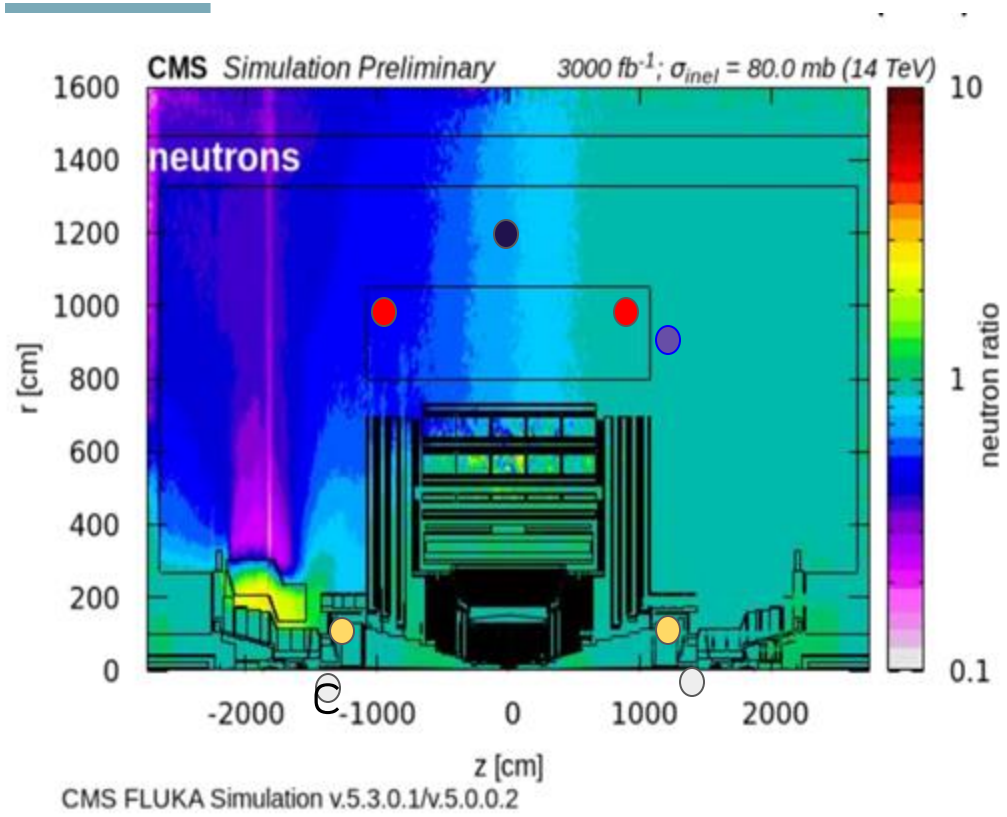


По совокупности данных с момента запуска LHC и данных, полученных 2022-2024 годах:

- показано уменьшение нормированных потоков нейтронов на протяжении работы ускорителя (RUN 1-2-3), обусловленное изменениями пучковых условий и развитием защиты
- подтверждена значительная асимметрия потоков нейтронов верх-низ относительно уровня пучков, не вполне объясненная Монте-Карло моделированием
- в ходе RUN3 (2022 - 2024 гг.) показана высокая стабильность измеряемых нейтронных полей при сохранении пучковых условий

Для обеспечения работы CMS в PHASE2/HL LHC во время YETS -2024 была установлена т.н. “Новая передняя защита” (New Front Shielding - NFS) в минусовой части установки CMS. Сопоставление данных нейтронных мониторов в “плюсовой” и “минусовой” частях в RUN3 позволило непосредственно оценить ее эффективность (до фактора 3 в передней области каверны) и осуществить уникальную критическую проверку модельно-теоретических расчетов по совокупности данных системы в 12 различных точках экспериментальной каверны до и после установки защиты.

Эффективность “Новой передней защиты” (NFS) и сравнение с результатами моделирования



Модельно-теоретические расчеты на качественном уровне удовлетворительно согласуются с результатами измерений и могут использоваться для дальнейшего прогнозирования радиационной обстановки

Отношение темпов счета MINUS/PLUS (Данные 2024)

	Расположение	Данные	FLUKA (Моделирование)
○	Inside HF shielding	1.1	Возможен небольшой рост
○	Outside HF shielding	0.75	Возможны небольшие изменения
●	Balcony above X4/Near	0.33	0.5

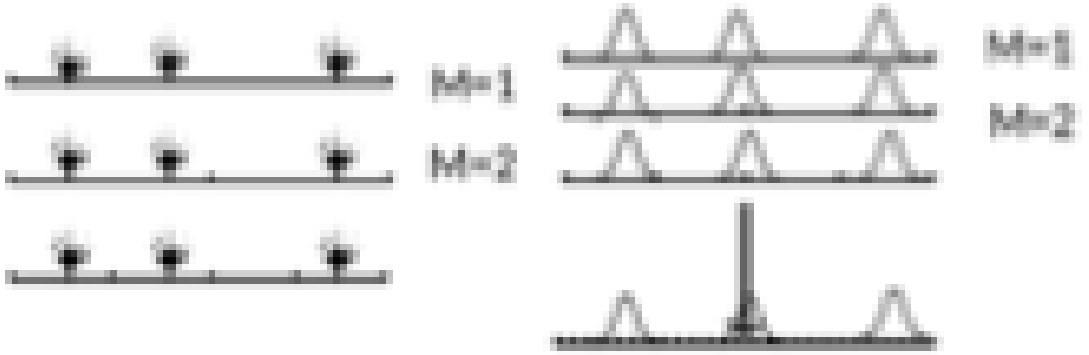
Отношение темпов счета 2024/2023

	Расположение	Данные	FLUKA (Моделирование)
●	Balcony X3/Near Z=0	0.75	0.5 - 0.8
●	Balcony X3/Near	1.	Без изменений

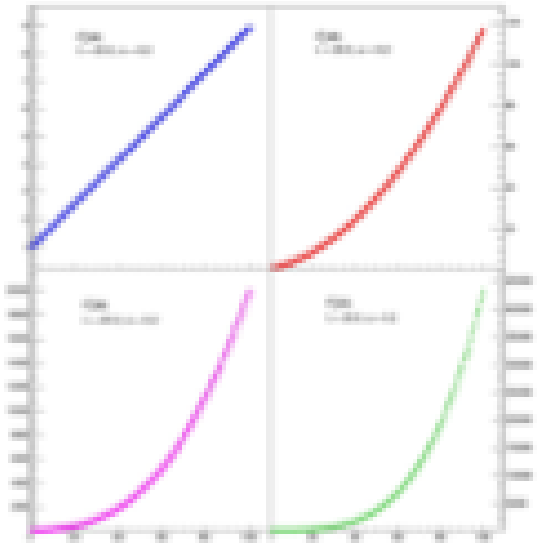
Многочастичные корреляции в pp-столкновениях при энергии 13 ТэВ

Метод факториальных моментов

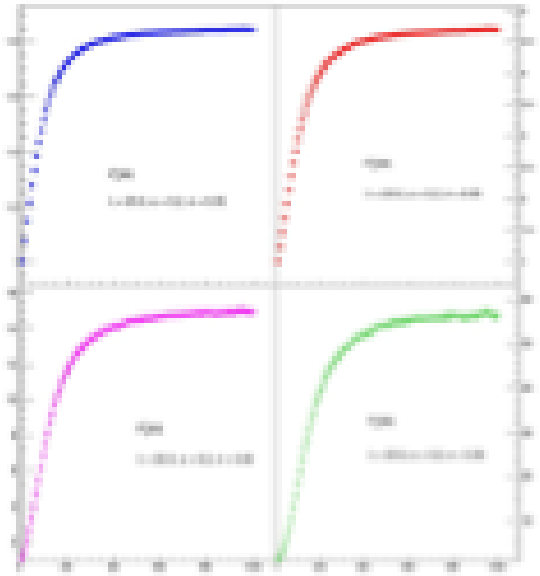
$$F_q^{\lambda}(M) = M^{q-1}\left\langle \sum_{j=1}^{M} \frac{n_j(n_j-1)\ldots(n_j-q+1)}{N(N-1)\ldots(N-q+1)} \right\rangle_{ev}$$



Зависимость нормированных факториальных моментов от размера интервала наблюдения прямо пропорциональна числу частиц в кластере и обратно пропорциональна числу кластеров.
Выполаживание связано с характерным размером кластера частиц.
Что в свою очередь зависит от числа начальных партонов, модели партонного ливня и адронизации.
Практически, уровень кластеризации оценивается без прямого поиска кластеров.



$F_q^{\lambda}(M)$: point-like groups

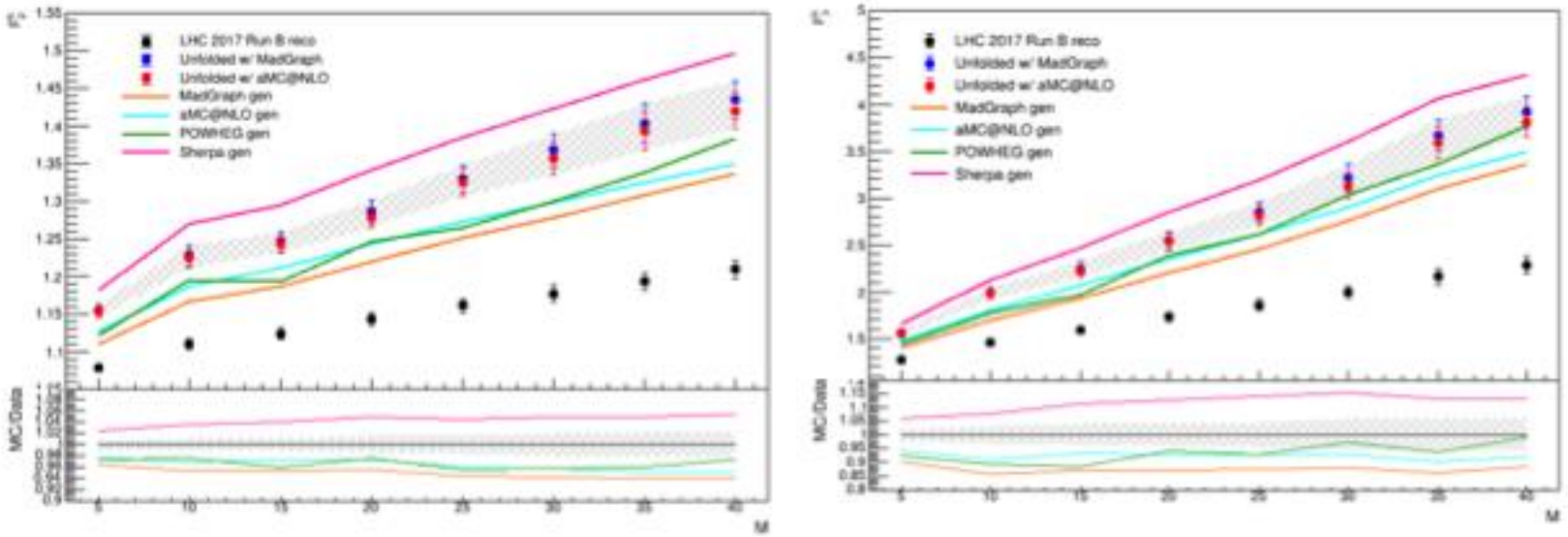


$F_q^{\lambda}(M)$: non-point-like groups

А.Чинарьян, О.Кодолова

Многочастичные корреляции в pp-столкновениях при энергии 13 ТэВ

Были получены зависимости факториальных моментов распределения по множественности в интервале псевдобыстроты от размера интервала в pp-взаимодействиях при энергии столкновений 13 ТэВ на установке CMS в сравнении с Монте-Карло генераторами элементарного взаимодействия. Была показана чувствительность зависимости по отношению к разным генераторам



Результаты были доложены на семинарах в ЦЕРНе: на конференции Ломоносовские чтения 2024. По результатам был защищен магистерский диплом. Начата подготовка к защите анализа в коллаборации CMS.

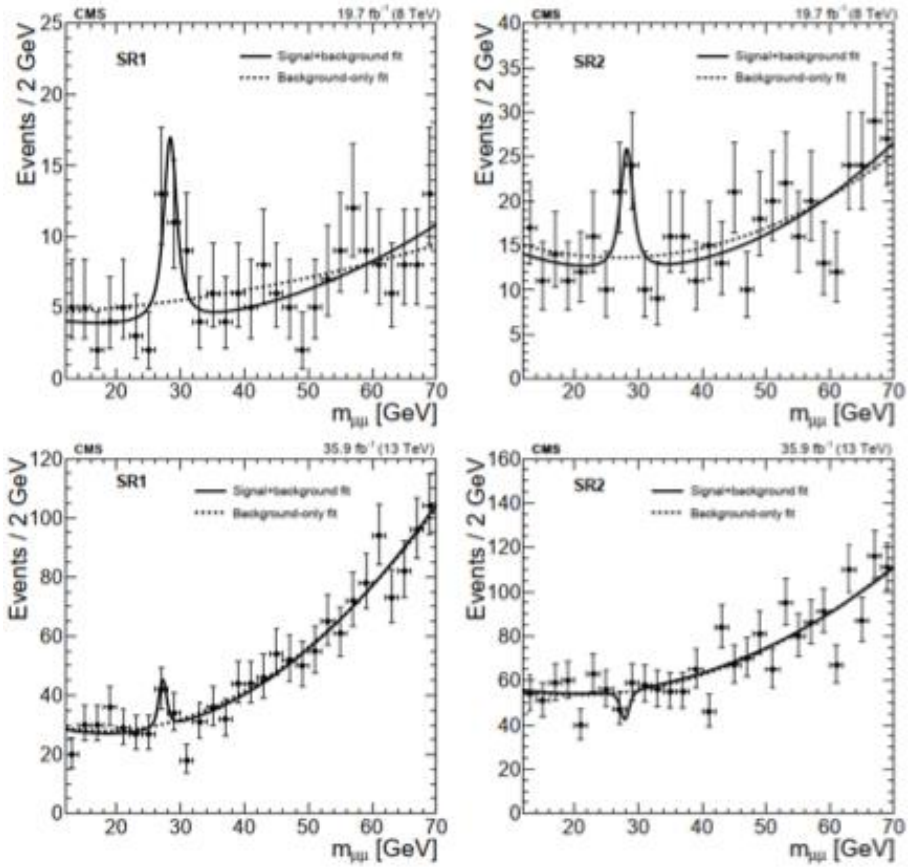
А.Чинарьян,
«Исследование многочастичных Корреляций в pp-взаимодействиях при энергии столкновений 13 ТэВ» Магистерская диссертация, 2024.

Метод может быть использован для тестирования моделей элементарного взаимодействия (в частности, подгонка мягкой компоненты взаимодействия, и не только …).

А.Чинарьян, О.Кодолова

Поиск резонансов в диапазоне масс димюонов 10-70 ГэВ, рожденных в сопровождении b-струй при энергии 13 ТэВ на данных 2017-2018 гг.

- При исследовании процесса $pp \rightarrow bbA, A \rightarrow \mu^+\mu^-$ при энергии БАК 8 ТэВ было обнаружено превышение числа димюоннов с массой ~28 ГэВ в двух категориях событий.



Event category	SR1 Additional forward jet	SR2 Additional central jet
Muons	OS, $p_T > 25$ GeV, $\|\eta\| < 2.1$	
$m_{\mu\mu}$	$m_{\mu\mu} > 12$ GeV	
b-tagged jet	$p_T > 30$ GeV, $\|\eta\| \leq 2.4$	
Additional jet	$p_T > 30$ GeV, $2.4 < \|\eta\| < 4.7$	$p_T > 30$ GeV, $\|\eta\| \leq 2.4$
Jet veto	No other jets $p_T > 30$ GeV, $\|\eta\| \leq 2.4$	No jets $p_T > 30$ GeV, $2.4 < \|\eta\| < 4.7$
p_T^{miss}	—	<40 GeV
$\Delta\phi(\mu\mu, jj)$	—	>2.5 rad

Event category	SR1 Additional forward jet	SR2 Additional central jet
m_X (GeV)	28.4± 0.6	28.2± 0.7
$\Gamma_{\mu\mu}$ (GeV)	1.9±1.3	1.9±1.1

$\sqrt{s}$ (TeV)	8		13	
Event category	SR1	SR2	SR1	SR2
Local significance (s.d.)	4.2	2.9	2.0	1.4 deficit
m_X (GeV)	28.3± 0.4		27.2±0.6	
$\Gamma_{\mu\mu}$ (GeV)	1.8±0.8		0.7±1.0	
N_S	22.0 ± 7.6	22.8 ± 9.5	14.5 ± 9.3	−14.9 ± 10.1

M. Mangano: no observation at 13 TeV might be explained by the increase of tt background by a factor of 3.3

JHEP 11 (2018) 161

Поиск резонансов в диапазоне масс димюонов 10-70 ГэВ, рожденных в сопровождении b-струй при энергии 13 ТэВ на данных 2017-2018 гг.

1) Было решено использовать данные 2016 года для оптимизации отборов: ограничение на импульс второго мюона и на переменную $p_T^{\mu\mu}/M_{\mu\mu}$, учесть возрастание светимости и падение прозрачности кристаллов в области $2.5<|\eta|<3$
2) Применить отборы к данным 2017-2018 года, посчитать значимость превышения числа событий

Была проведена оптимизация отборов для pp взаимодействий при энергии столкновений 13 ТэВ на данных 2016 года.

Новые отборы были применены к данным 2017-2018 года. Были проведены статистический анализ, сканы параметров и другие тесты.
Работа получила одобрение на группе и Analysis Review Committee (ARC).

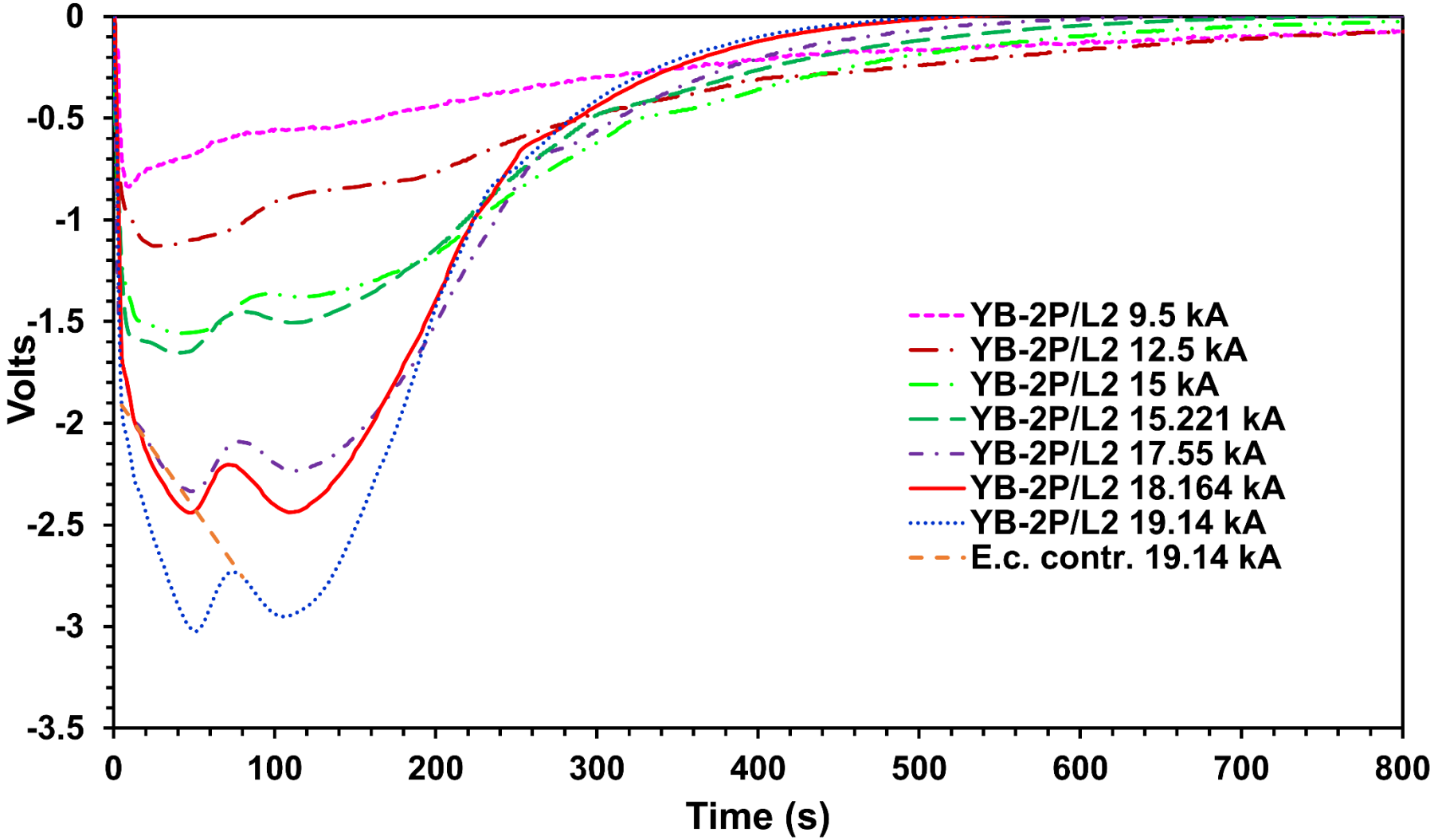
Коллаборация назначила группу для дополнительной проверки в соответствие с правилами CMS.

О;Кодолова (НИИЯФ), А.Никитенко, В.Гаврилов(ИТЭФ), ОИЯИ, С.Поликарпов (МИФИ)

Выводы

- В 2024 году продолжались разнообразные методические и физические исследования в зоне ответственнолсти НИИЯФ МГУ
- Получен ряд значимых и интересных результатов, которые либо уже опубликованы, либо готовятся к публикации

Дополнительные слайды



Сигналы, индуцированные в одной из потоковых петель во время быстрых разрядов магнита **CMS с 7 значений начального тока в магните**. Коричневым пунктиром отсечен вклад вихревых токов, индуцированных в сечении стального блока, охваченного данной потоковой петлей, при сбросе с 19,14 кА.