



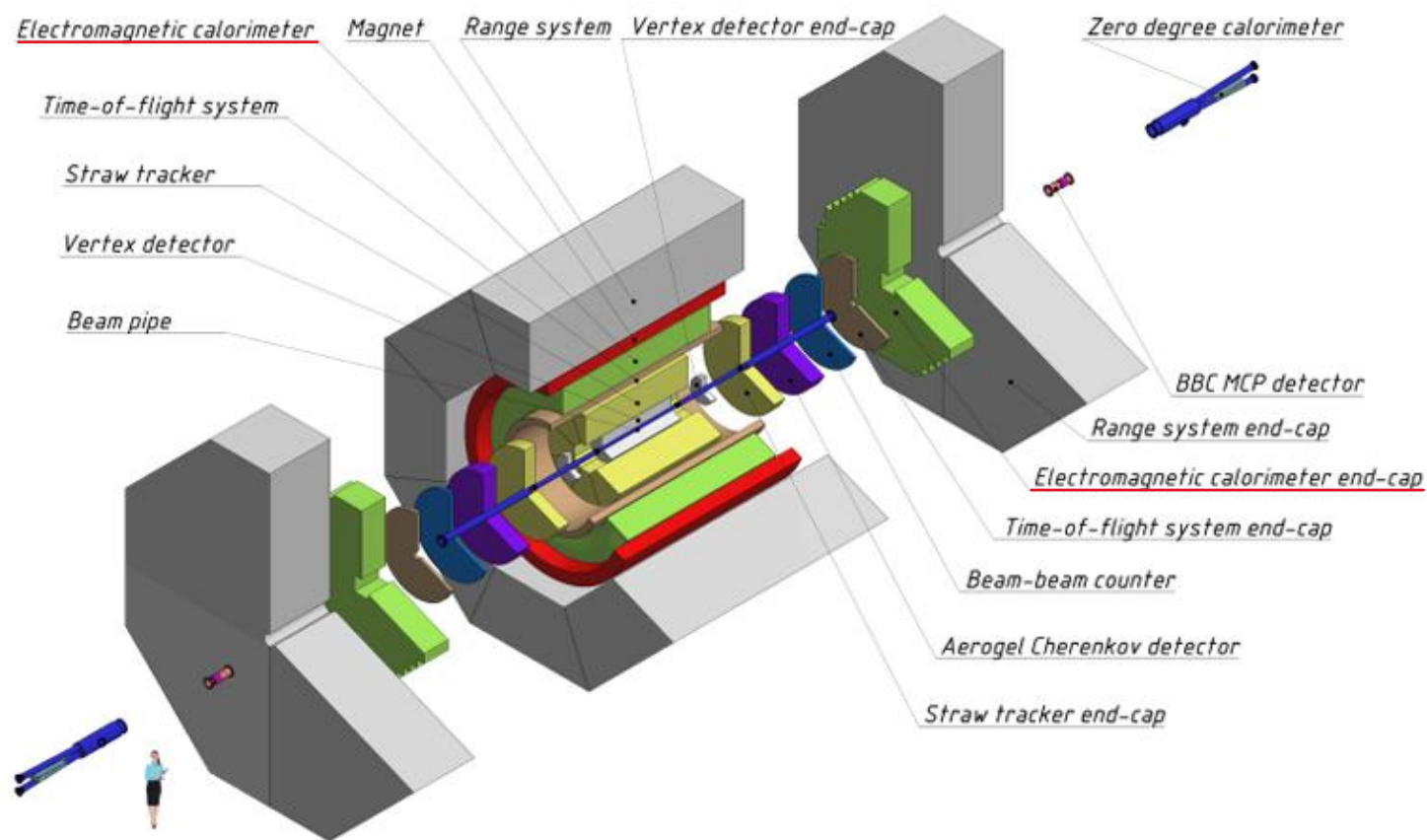
Модернизация алгоритмов фотонной идентификации в электромагнитном калориметре эксперимента SPD

Студент: Петров Г. Е. Б22-102

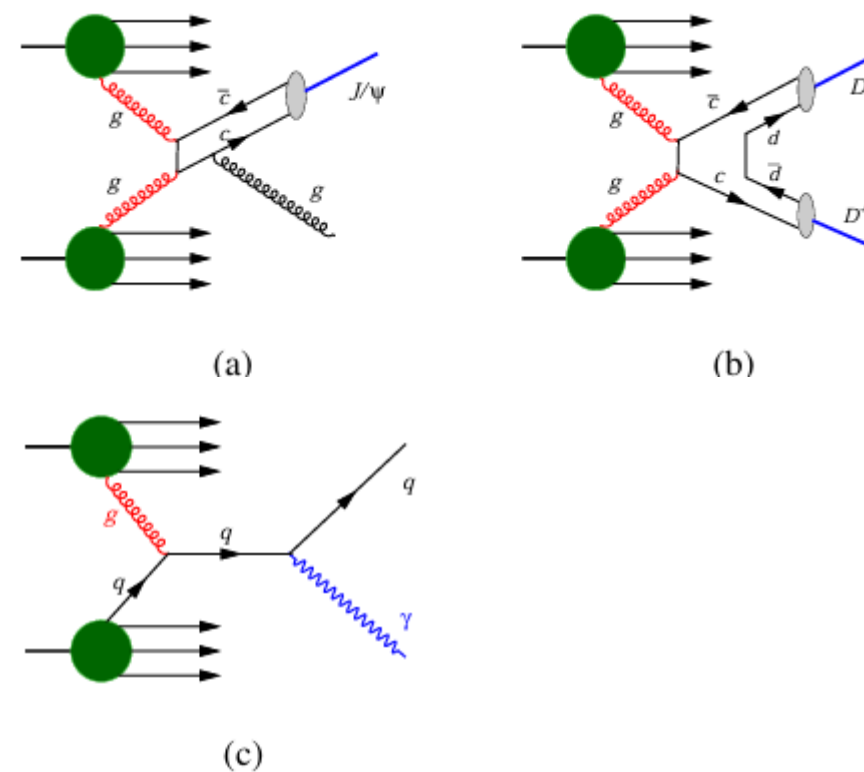
Научный руководитель: Солдатов Е. Ю.



Об эксперименте SPD



Детекторы второй стадии эксперимента



Диаграммы, иллюстрирующие процессы: рождение (a) чармония, (b) открытого чарма и (c) прямых фотонов.

Задача разделения фотонных и $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ событий

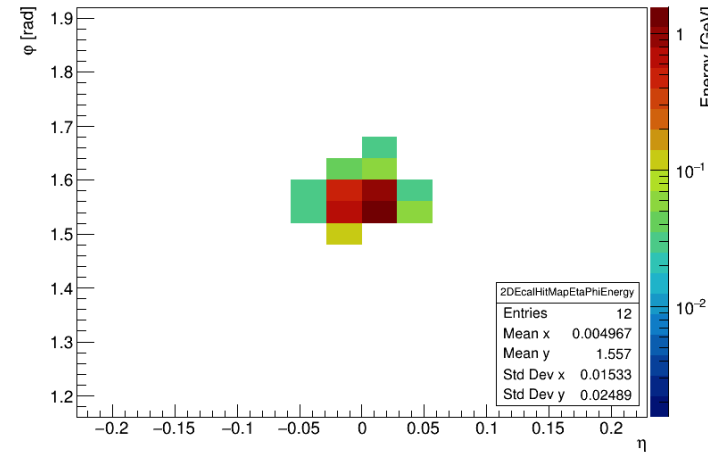
Постановка задачи:

В связи с физикой распада фотоны из распада π^0 могут попадать в один кластер из-за малого угла разлета, поэтому существует 2 принципиальных случая:

- 1. оба фотона от π^0 попали в один кластер**
– тогда такой кластер имеет специфическую форму
- 2. Фотоны от π^0 попали в разные кластеры**
– такие кластеры можно идентифицировать из кинематики

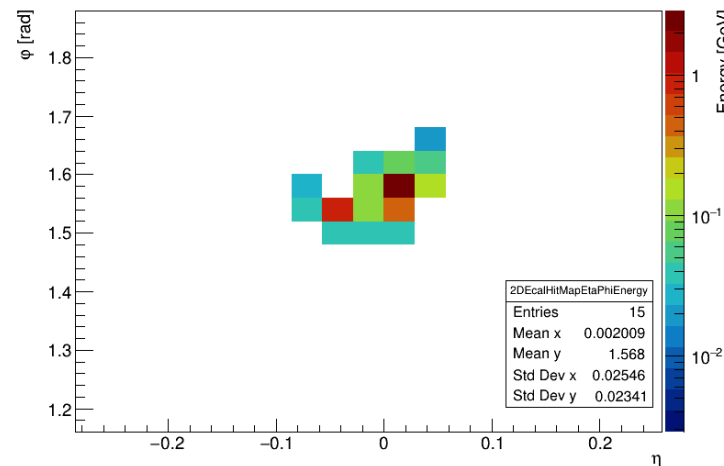
В данной работе **в качестве фона рассмотрены кластеры 1го типа** – именно такие кластеры отделялись от «фотонных кандидатов»: кластеров 2го типа и кластеров от прямых фотонов.

ECAL Energy Hit Map (η vs ϕ)



Пример кластера γ (5 ГэВ)

ECAL Energy Hit Map (η vs ϕ)



Пример кластера π^0 (5 ГэВ)

Задача разделения фотонных и $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ событий

Подходы к решению задачи сепарации γ / π^0

Существуют два основных класса методов:

- **Классический подход:**
 - фиксированные отборы по физическим переменным
- **ML-подход:**
 - модели машинного обучения, обучающиеся форме ливня
 - (MLP, CNN, GNN, BDT и др.)

Предыдущие исследования:

- ранее в коллаборации изучался **MLP-подход** для данной задачи;
- получена **90% π^0 режекция при 80% γ эффективности** в сценарии одиночных запусков π^0 и γ равномерно по телесному углу

Цель данной работы:

- Расширенное исследование данной задачи: исследование более широкого круга наблюдаемых и альтернативных методов (**BDT** – boosted decision trees и **cut-based** – классические отборы)

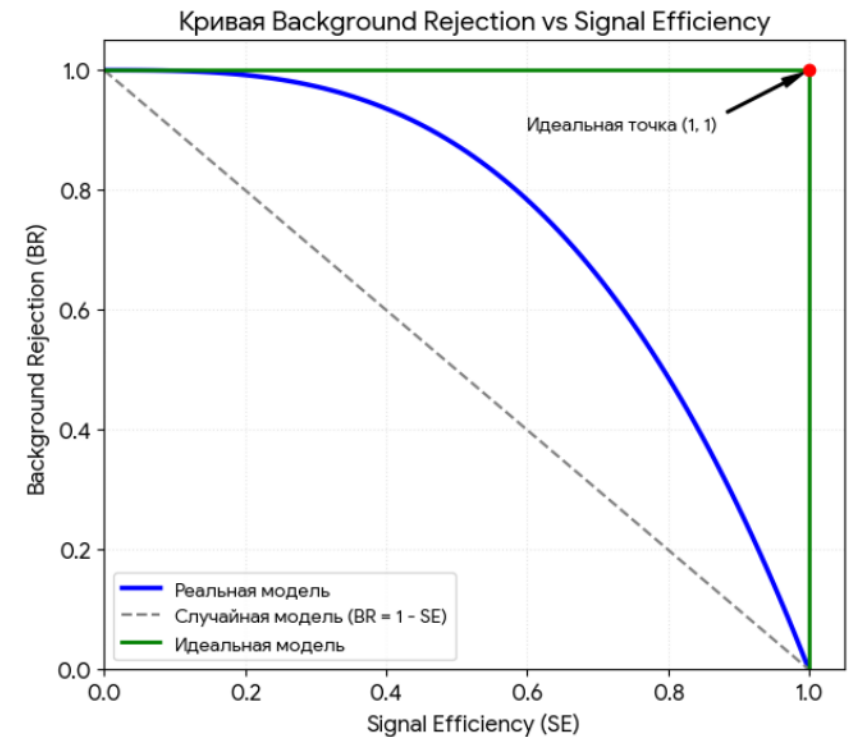
Ключевая задача:

- разработать **универсальный инструмент**, позволяющий:
 - применять **как ML**, так и **классические методы**

Задача разделения фотонных и $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ событий

Методика оценивания качества моделей

- False Positive Rate (FPR) – доля фона, принятого за сигнал среди всего фона (соответственно режекция фона – доля правильно отброшенного фона среди всего фона)
- True Positive Rate (TPR) – доля правильно отобранного сигнала среди всего сигнала
- **Основная метрика** оценки качества модели, которая использовалась в данной работе: **площадь под ROC кривой** – режекции фона (1 - FPR) от эффективности сигнала (TPR)

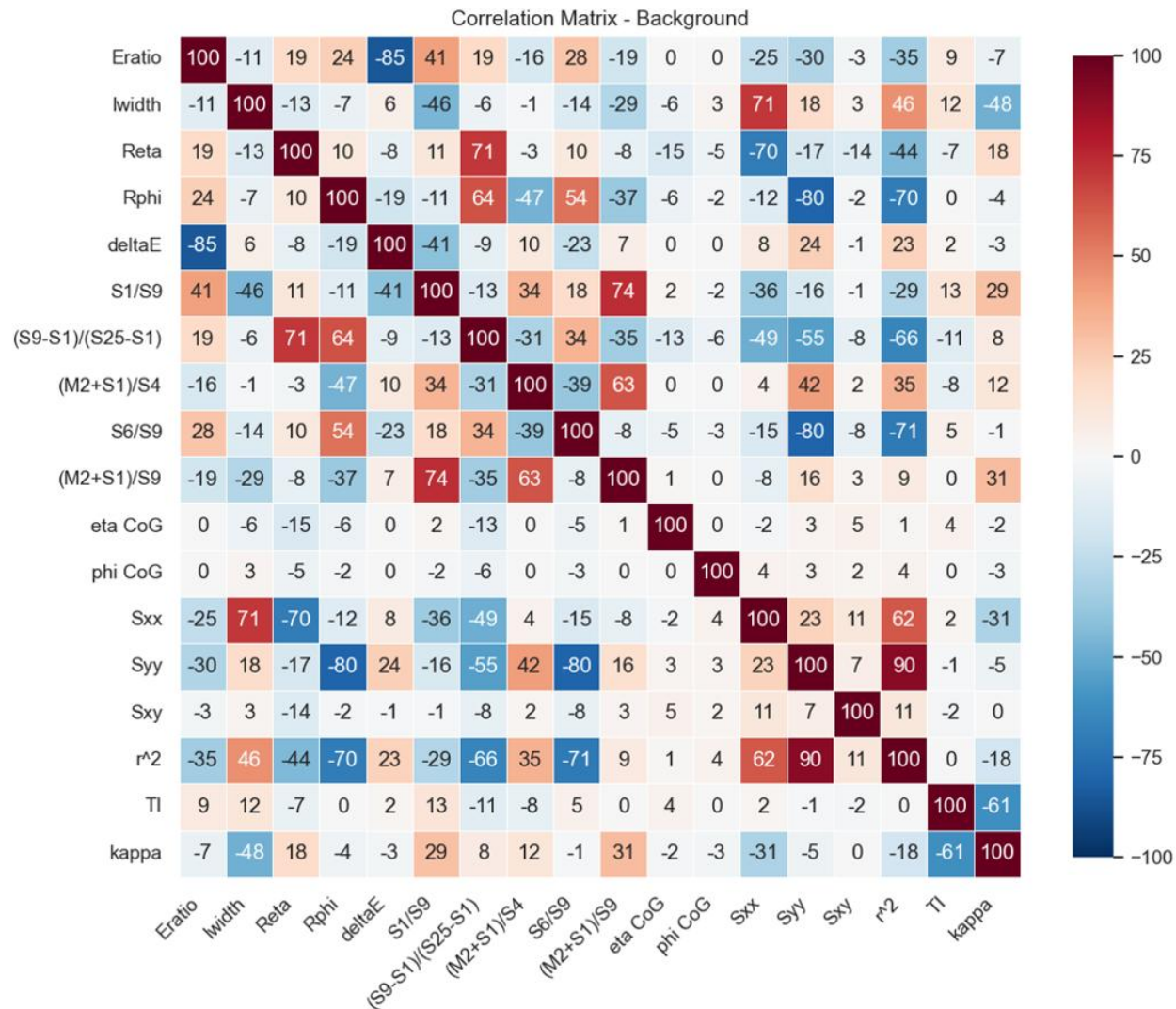


- Примеры ROC-кривых

Адаптированные наблюдаемые

Используемые наблюдаемые для кластеров (комбинация переменных, применяемых в ATLAS, и переменных из предыдущего исследования решения задачи MLP-подходом)

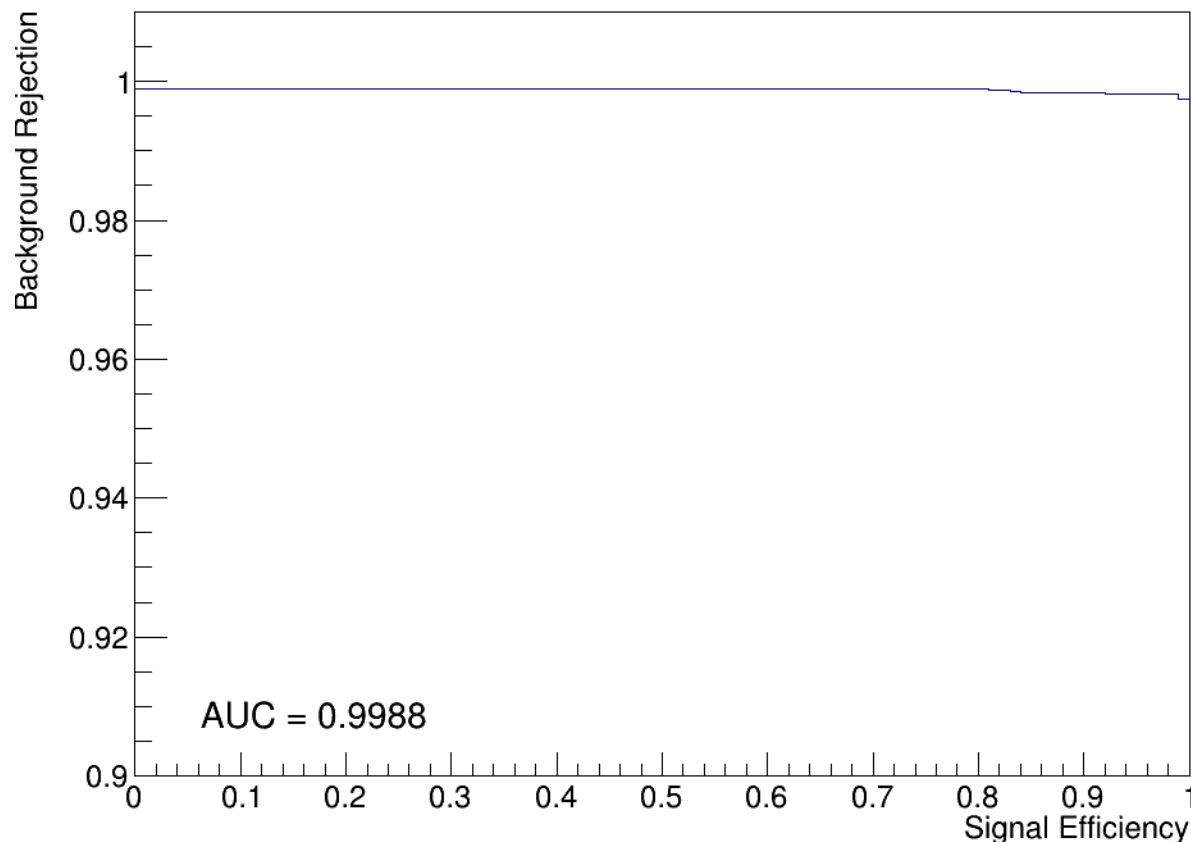
- Пространственное распределение энергии в кластере
- Поперечная ширина
- Асимметрия энергосвыделения и наличие нескольких локальных максимумов
- Положение центра тяжести кластера
- Вторые моменты и ковариации распределения энергии
- Энергетические отношения в различных областях кластера
- Параметры компактности, вытянутости и «хвостов» ливня
- Энергия и координаты кластера



- Корреляционная матрица для фона (π_0) (фиксированные энергия и направление)

Результаты BDTG (~15000 гамма и π^0 перпендикулярно баррелю ($p_x=p_z=0$): равномерное распределение энергии 1-10GeV)

Background Rejection vs Signal Efficiency

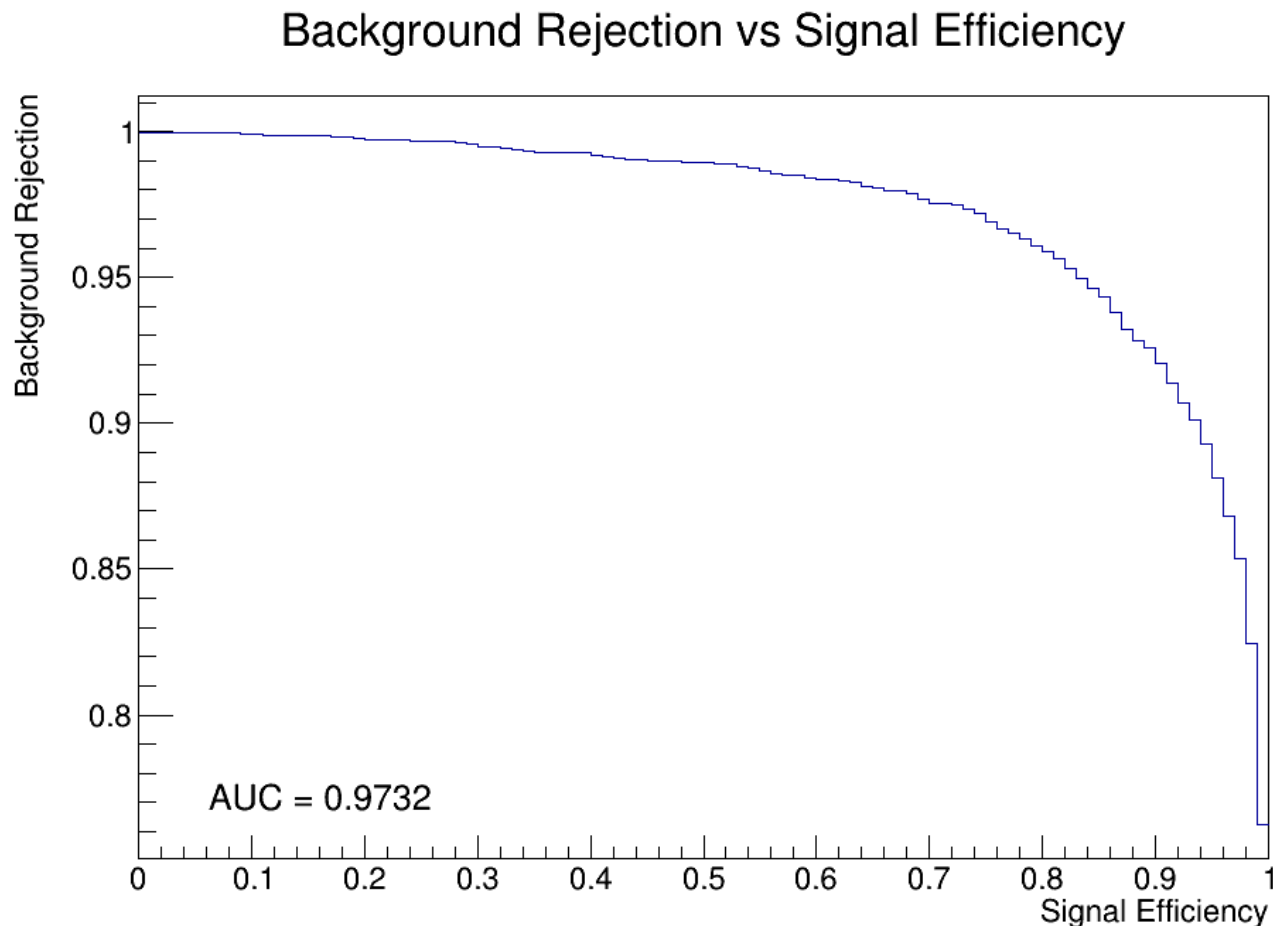


- Фон: кластеры вида $[\pi^0, \gamma, \gamma]$ (тренировочная выборка: 7457 кластеров)
- Сигнал: кластеры вида $[\gamma]$. (тренировочная выборка: 13867 кластеров)

Параметры лучшего BDT классификатора:

- BoostType = AdaBoost
- Ntrees = 800
- MaxDepth = 5
- nCuts = 40

Результаты BDTG (~18000 гамма и π^0 : равномерное распределение по телесному углу, равномерное распределение по Pt [0, 10] GeV)

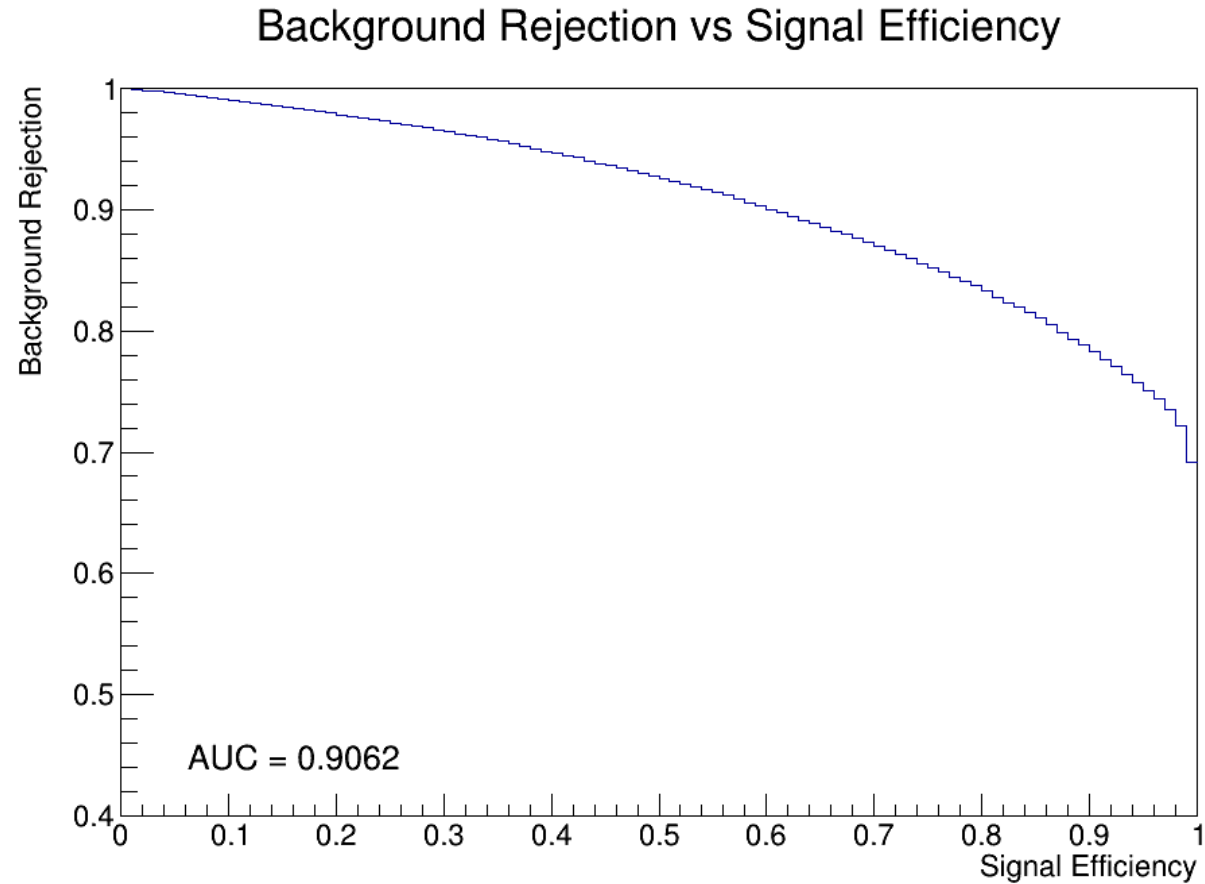


- Фон: кластеры вида $[\pi^0, \gamma, \gamma]$ (тренировочная выборка: 7149 кластеров)
- Сигнал: кластеры вида $[\gamma]$. (тренировочная выборка: 10139 кластеров)
- Фильтр: энергия кластера > 1 ГэВ

Параметры лучшего BDT классификатора:

- BoostType=AdaBoost
- Ntrees = 1400
- MaxDepth = 5
- nCuts = 40

Результаты BDTG (minbias: 4000000 событий, pp-столкновения, 27 GeV)



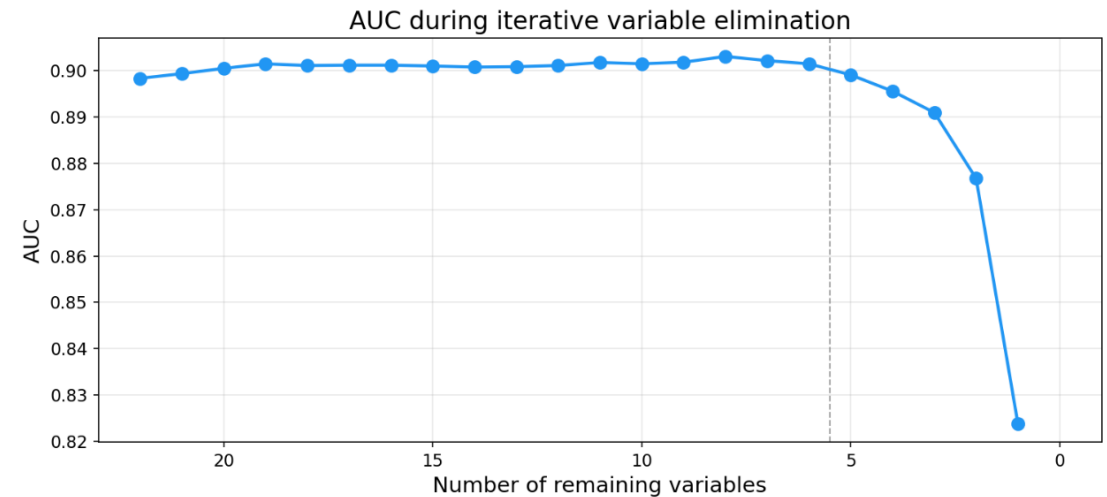
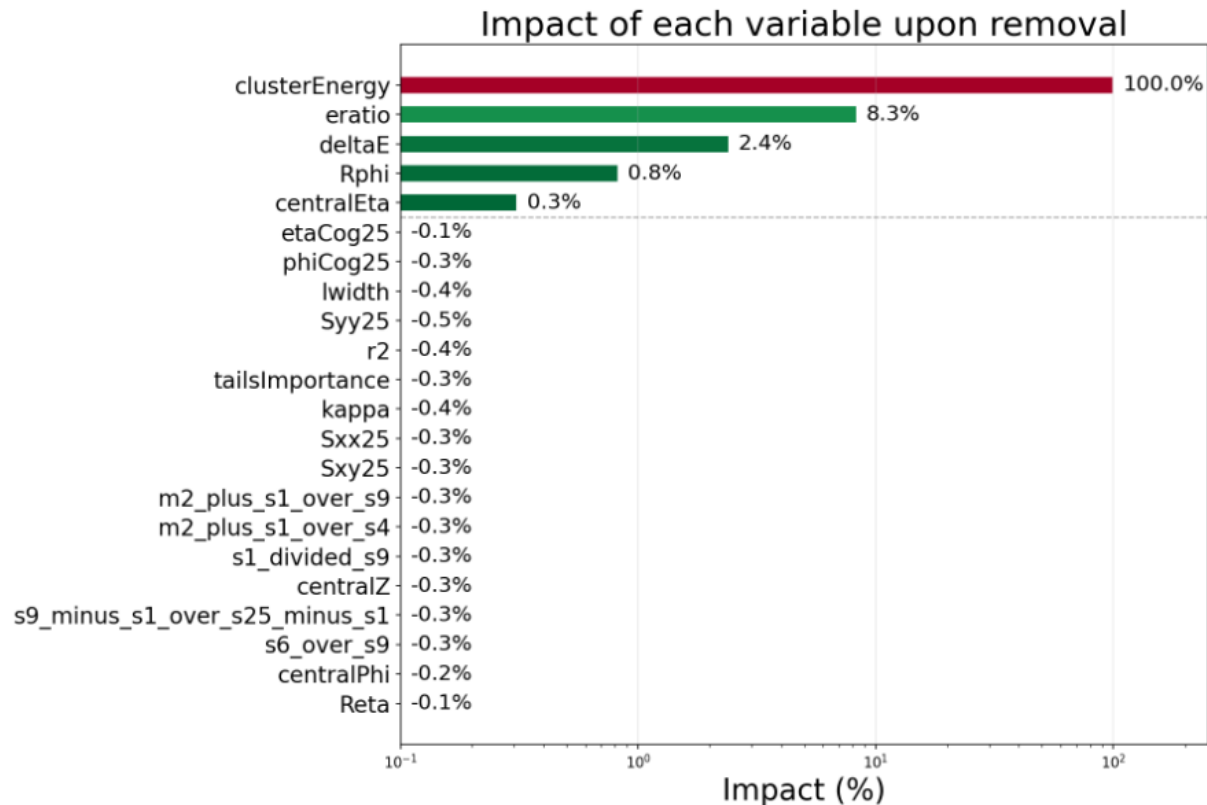
- Фон: кластеры вида [π^0 , γ , γ] (тренировочная выборка: 119319 кластеров)
- Сигнал: кластеры вида [γ] (тренировочная выборка: 29746 кластеров)
- Фильтр: энергия кластера > 1 ГэВ

Параметры лучшего BDT классификатора:

- BoostType=Grad
- Ntrees = 200
- MaxDepth = 2
- nCuts = 40

Оценка влияния наблюдаемых на качество классификации

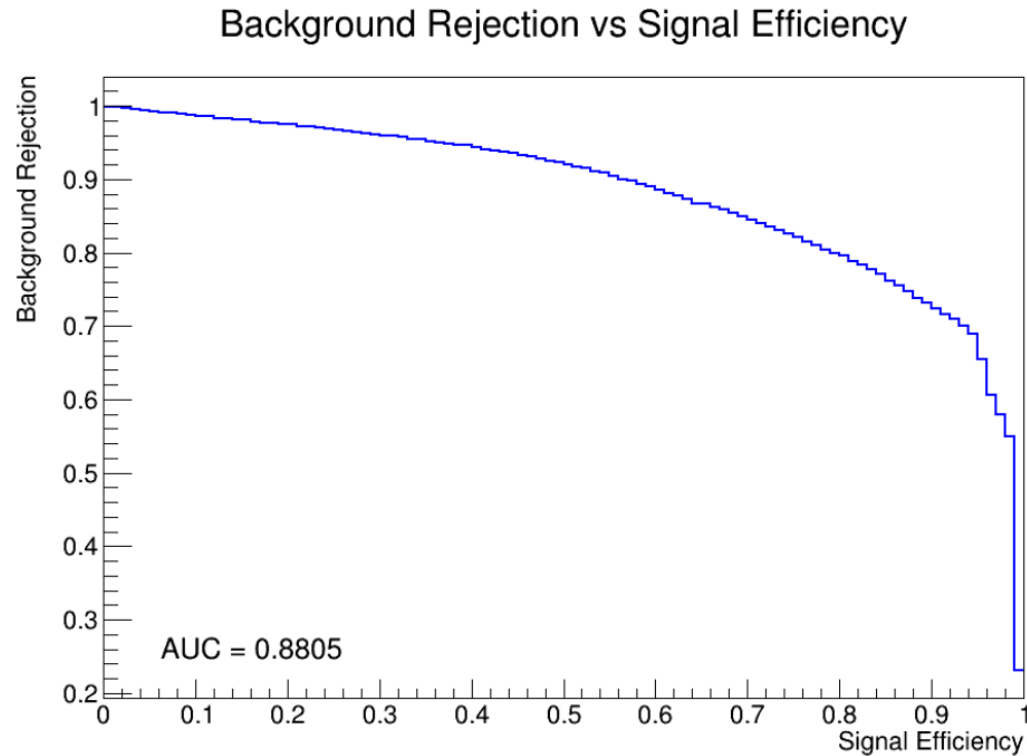
- Ранжирование наблюдаемых для BDT методом итеративного исключения



- После отбора лучших переменных ROC AUC для BDT и фикс. отборов: 0.902 и 0.881 соответственно (на данных minbias)

- Для классификатора фиксированных отборов отобраны наблюдаемые:
 $E_{\text{ratio}}, w_{\eta 2}, R_{\phi}, \Delta E, (M_2 + S_1)/S_9$
- Для BDT классификатора были отобраны наблюдаемые:
 $E_{\text{cluster}}, E_{\text{ratio}}, \Delta E, R_{\phi}, \eta_{\text{central}}$

Фиксированные отборы (minbias: 4000000 событий, pp-столкновения, 27 GeV)



- Фон: кластеры вида [π^0 , γ , γ] (тренировочная выборка: 119319 кластеров)
- Сигнал: кластеры вида [γ] (тренировочная выборка: 29746 кластеров)
- Фильтр: энергия кластера > 1 ГэВ

Рисунок 3.34 — ROC-кривая классификатора фиксированных отборов с 5 отобранными наблюдаемыми для этапа 3, отборы на наблюдаемые при 80% эффективности: $E_{\text{ratio}} > 0.564$, $w_{\eta 2} > 0$, $R_{\phi} > 0.254$, $\Delta E < 0.142$, $(M_2 + S_1)/S_9 < 4.71$

Фиксированные отборы (minbias: 4000000 событий, pp-столкновения, 27 GeV). Категоризация.

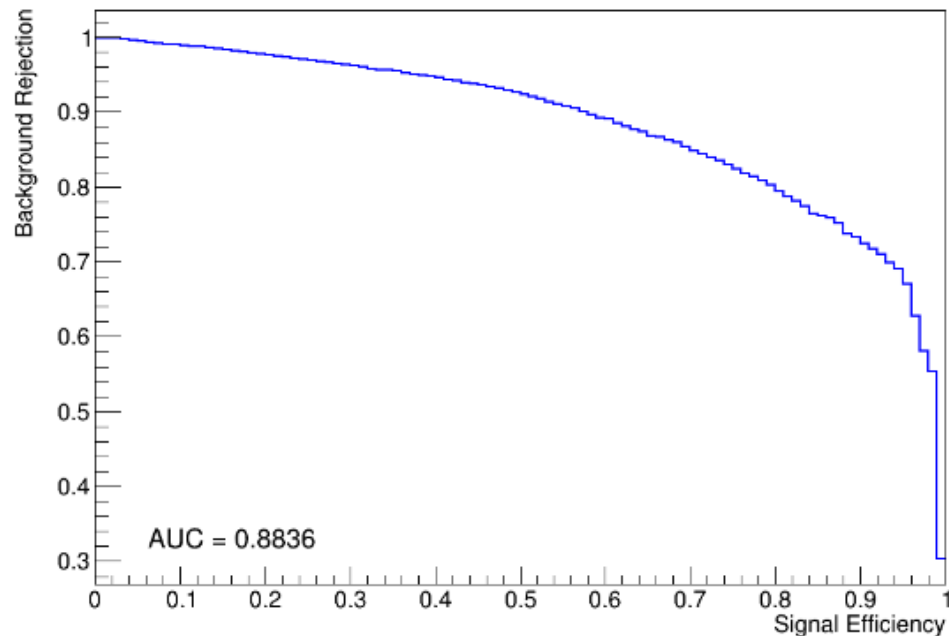


Рисунок 3.36 — ROC-кривая комбинированного классификатора фиксированных отборов с категоризацией по η на цилиндрическую часть и эндкапы для этапа 3

- Категоризация дает **прирост порядка 0.3%**

$$\epsilon_S^{\text{comb}} = \frac{N_S^{\text{bar}} \cdot \epsilon_S^{\text{bar}} + N_S^{\text{end}} \cdot \epsilon_S^{\text{end}}}{N_S^{\text{bar}} + N_S^{\text{end}}},$$

$$\epsilon_B^{\text{comb}} = \frac{N_B^{\text{bar}} \cdot \epsilon_B^{\text{bar}} + N_B^{\text{end}} \cdot \epsilon_B^{\text{end}}}{N_B^{\text{bar}} + N_B^{\text{end}}}.$$

Для каждого значения сигнальной эффективности выбиралось максимальное подавление фона $1 - \epsilon_B^{\text{comb}}$ среди всех комбинаций. По полученной кривой вычислялась площадь под кривой (ROC AUC).

- Фон: кластеры вида $[\pi^0, \gamma, \gamma]$ (тренировочная выборка: 119319 кластеров)
- Сигнал: кластеры вида $[\gamma]$ (тренировочная выборка: 29746 кластеров)
- Фильтр: энергия кластера $> 1 \text{ ГэВ}$

Сравнение методов

Метрика	MLP	BDT (22 н.)	Фикс. отборы
π^0 режекция при 80% γ эффективности (равномерное распределение по телесному углу, разные энергии)	90%	96%	88%
ROC AUC: равномерное распределение по телесному углу, разные энергии	-	0.958	0.908
ROC AUC: Minbias, Ecluster>1 ГэВ	-	0.906	0.881
π^0 режекция при 80% γ эффективности: Minbias, Ecluster>1 ГэВ	-	84%	80%
π^0 режекция при 90% γ эффективности: Minbias, Ecluster>1 ГэВ	-	78%	74%

- Сценарий разделения кластеров вида: [π^0 , γ , γ] (π^0 - фон) и [γ] (γ – сигнал)

Заключение



Основные результаты

- Адаптированы наблюдаемые фотонной идентификации из эксперимента ATLAS к геометрии калориметра SPD и реализованы в анализе.
- Изучены и адаптированы наблюдаемые, использованные ранее для решения данной задачи MLP-подходом, для совместного использования с наблюдаемыми ATLAS.
- Выполнено **сравнение методов** классификации кластеров: метод фиксированных отборов, MLP и BDT в различных условиях и сценариях.
- Произведено **ранжирование и отбор лучших наблюдаемых** для кластеров для различных классификаторов.
- На Minbias достигнуто **лучшее значение ROC AUC 0.906** (BDT с 22 наблюдаемыми); BDT с 5 наблюдаемыми показал сопоставимый результат — 0.902.
- Показано, что **категоризация** по псевдобыстроте η обеспечивает прирост ROC AUC классификатора фиксированных отборов приблизительно на 0.3%.
- Получены веса для BDT классификатора и лучшие отборы на наблюдаемые для классификатора на основе фиксированных отборов. На основе этих данных классификаторы могут быть интегрированы в среду SPDROOT/SAMPO.
- Результаты данного исследования будут представлены на конференции «ЯДРО-2026. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии».

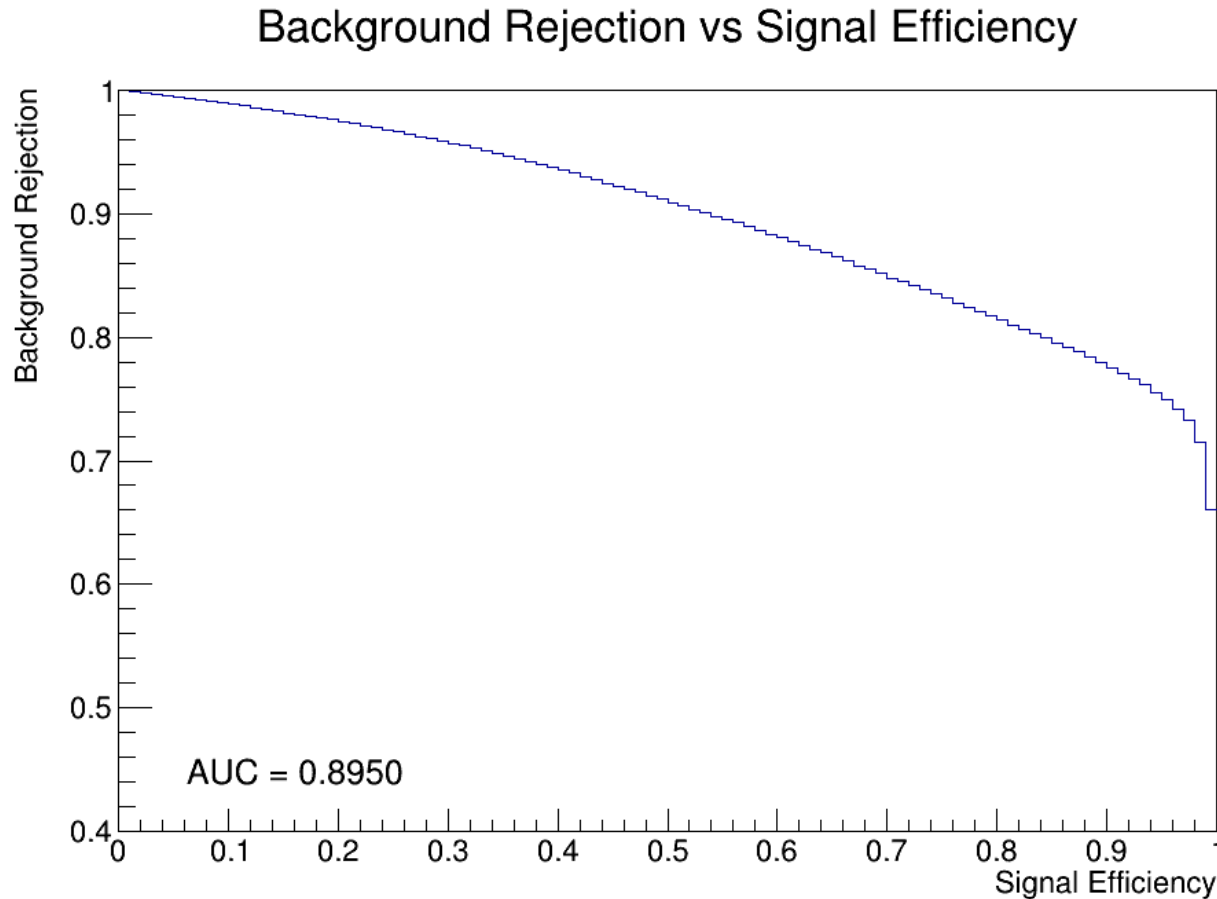


МИФИ

Национальный
исследовательский
ядерный университет

**Спасибо за
внимание**

Результаты BDTG (minbias: 4000000 событий, pp-столкновения, 27 GeV)



- Фон: кластеры вида $[\pi^0, \gamma, \gamma]$ (train: 119319 кластеров)
- Сигнал (фотонные кандидаты): кластеры вида $[\gamma], [\pi^0, \gamma]$ (train: 1169614 кластеров)
- Фильтр: энергия кластера > 1 GeV

Параметры лучшего BDT классификатора:

- Ntrees = 800
- MaxDepth = 5
- nCuts = 40

Описание всех адаптированных параметров (из эксперимента ATLAS)

- $w_{\eta 2}$: поперечная ширина электромагнитного ливня в ячейках кластера

$$w_{\eta 2} = \sqrt{\frac{\sum_i E_i \eta_i^2}{\sum_i E_i} - \left(\frac{\sum_i E_i \eta_i}{\sum_i E_i}\right)^2}$$

сумма по окну 3×5 ячеек по (η, ϕ) ;

- R_ϕ : отношение энергии, выделенной в окне 3×3 ячеек, к энергии в окне 3×7 ячеек по (η, ϕ) ;

- E_{ratio} : отношение

$$E_{\text{ratio}} = \frac{E_{\text{max1}} - E_{\text{max2}}}{E_{\text{max1}} + E_{\text{max2}}},$$

где E_{max1} и E_{max2} — наибольшее и второе по величине энерговыделения в ячейках калориметра;

- ΔE : разность между энергией второго локального максимума в ячейках кластера и минимальной энергией, реконструированной в прямоугольнике между первым и вторым максимумами. В случае отсутствия второго максимума параметр принимает значение 0.
- R_η : отношение энергии, выделенной в окне 3×7 ячеек, к энергии в окне 7×7 ячеек по (η, ϕ) ;

Описание всех адаптированных параметров

- Смещение центра тяжести относительно максимума η/φ :

$$x_{\text{cog}} = \frac{1}{S_{25}} \sum_{i=1}^{25} E_i X_i^{\text{rel}}, \quad y_{\text{cog}} = \frac{1}{S_{25}} \sum_{i=1}^{25} E_i Y_i^{\text{rel}},$$

где $S_{25} = \sum_{i=1}^{25} E_i$, X_i^{rel} , Y_i^{rel} — координаты i -го хита относительно максимума.

- Вторые моменты:

$$\langle r^2 \rangle = S_{XX} + S_{YY} = \frac{\sum_{i=1}^N e_i [(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2]}{\sum_{i=1}^N e_i},$$

где $N=25$, e_i — энергия i -го хита, (x_c, y_c) — координаты центра тяжести кластера ($\eta_c = \frac{\sum_{i=1}^N E_i \eta_i}{\sum_{i=1}^N E_i}$, $\phi_c = \arctan\left(\frac{\sum_{i=1}^N E_i \sin \phi_i}{\sum_{i=1}^N E_i \cos \phi_i}\right)$).

$$S_{XX} = \frac{\sum_{i=1}^N e_i (x_i - x_c)^2}{\sum_{i=1}^N e_i}, \quad S_{YY} = \frac{\sum_{i=1}^N e_i (y_i - y_c)^2}{\sum_{i=1}^N e_i},$$

$$S_{XY} = S_{YX} = \frac{\sum_{i=1}^N e_i (x_i - x_c)(y_i - y_c)}{\sum_{i=1}^N e_i}.$$

где $N=25$, e_i — энергия i -го хита, (x_c, y_c) — координаты центра тяжести кластера.

- Параметр формы кластера:

$$\kappa = \sqrt{1 - \frac{S_{XX}S_{YY} - S_{XY}^2}{(S_{XX} + S_{YY})^2}} = \sqrt{1 - \frac{4 \det S}{\text{Tr}(S)^2}},$$

где $\det S = S_{XX}S_{YY} - S_{XY}^2$, $\text{Tr}(S) = S_{XX} + S_{YY}$.

- Также на распределениях с нефиксированной энергией и направлением использовались энергия кластера и координаты его центра (центрального хита по η , ϕ) в качестве переменных BDT.

- Энергетические отношения:

$$\frac{S_1}{S_9}, \quad \frac{S_9 - S_1}{S_{25} - S_1}, \quad \frac{M_2 + S_1}{S_4}, \quad \frac{S_6}{S_9}, \quad \frac{M_2 + S_1}{S_9}.$$

где S_1 — максимальная энергия в ячейке кластера, M_2 — вторая по величине энергия в ячейке кластера, S_4, S_6, S_9, S_{25} — суммы энергий в окнах $2 \times 2, 3 \times 2, 3 \times 3, 5 \times 5$ ячеек соответственно по (η, ϕ) .

- Важность хвостов (Tail Importance):

$$\text{TI} = \frac{\langle r^4 \rangle}{\langle r^2 \rangle^2} = 1 - \frac{\langle r^2 \rangle^2}{\langle r^4 \rangle}.$$

где

$$\langle r^4 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N e_i [(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2]^2}{\sum_{i=1}^N e_i}.$$

Процедура ранжирования (N-1 ranking) для BDT-классификатора

3.4.1 РАНЖИРОВАНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КЛАССИФИКАТОРА BDT

Для ранжирования наблюдаемых использовался метод N-1 ранжирования. Был реализован итеративный алгоритм исключения наблюдаемых:

- 1) Обучается референтная (базовая) модель BDT на всех N (22) наблюдаемых, вычисляется AUC_{all} (ROC AUC референтной модели).
- 2) Для каждой наблюдаемой x_i из текущего набора:
 - (а) Обучается модель без x_i и всех ранее исключённых наблюдаемых;
 - (б) Вычисляется $AUC_{without}$ (ROC AUC модели из п. а);
 - (в) Рассчитывается накопленное влияние (impact):

$$\text{Impact}^{(k)}(x_i) = \frac{AUC_{all} - AUC_{all \setminus (R_{k-1} \cup \{x_i\})}}{AUC_{all}} \times 100\%,$$

где k — номер итерации; R_{k-1} — множество наблюдаемых, исключённых на предыдущих $k - 1$ итерациях; AUC_{all} — метрика модели со всеми 22 наблюдаемыми; $AUC_{all \setminus (R_{k-1} \cup \{x_i\})}$ — метрика модели без x_i и всех ранее исключённых наблюдаемых.

- 3) Наблюдаемая с наименьшим impact исключается.
- 4) Шаги 2–3 повторяются, пока не останется одна наблюдаемая.

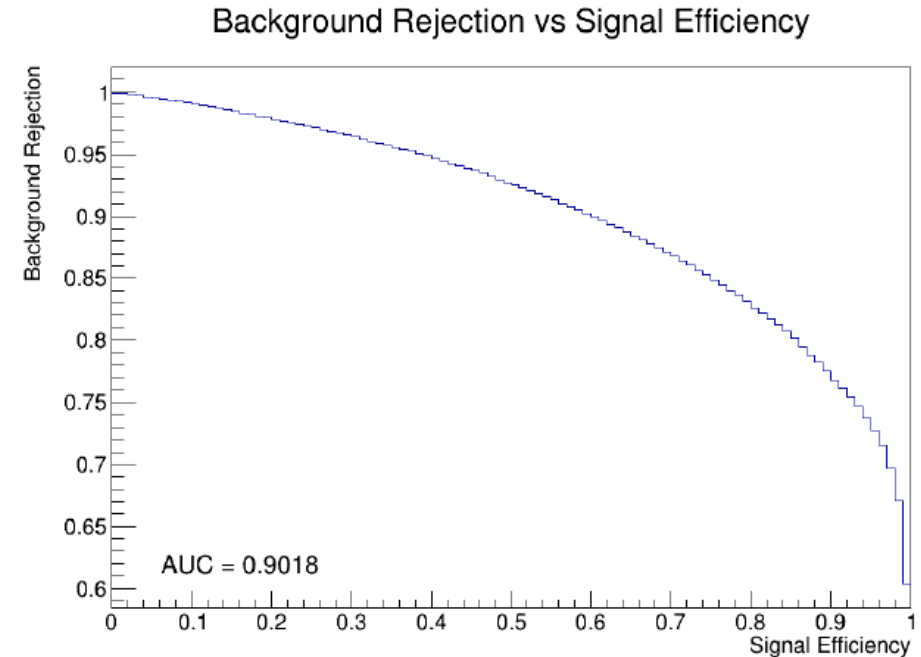


Рисунок 3.31 — ROC кривая BDT классификатора (с параметрами BoostType = Grad, nTrees = 200, MaxDepth = 2, nCuts = 40) для этапа 3, после отбора 5 лучших наблюдаемых

Процедура ранжирования для классификатора фиксированных отборов

3.4.2 ОТБОР ЛУЧШИХ НАБЛЮДАЕМЫХ ДЛЯ КЛАССИФИКАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ФИКСИРОВАННЫХ ОТБОРОВ

Отбор лучших же наблюдаемых для классификатора прямоугольных отборов производился другим способом. В связи с крайне затратным по времени обучением классификатора на большом количестве наблюдаемых (и вообще говоря слабой устойчивости данного метода к добавлению новых наблюдаемых) вместо итеративного исключения использовался алгоритм итеративного добавления. Алгоритм последовательно добавлял наблюдаемые к изначально пустому набору:

- 1) На первом шаге обучалась модель с каждой наблюдаемой по отдельности; наблюдаемая, показавшая наибольшее ROC AUC, отбиралась первой.
- 2) На каждом последующем шаге для каждой из оставшихся наблюдаемых обучалась модель с добавлением данной наблюдаемой к текущему набору. Рассчитывался прирост качества (Gain):

$$\text{Gain} = \frac{AUC_{\text{new}} - AUC_{\text{prev}}}{AUC_{\text{prev}}} \times 100\%,$$

где AUC_{prev} — метрика на предыдущем шаге, AUC_{new} — после добавления кандидата.

- 3) Если максимальный Gain среди всех кандидатов превышал порог 0.1%, соответствующая наблюдаемая добавлялась в набор; в противном случае алгоритм останавливался.
- 4) Шаги 2–3 повторялись, пока не оставалось кандидатов с Gain выше порога.

Отбор проводился среди 18 наблюдаемых формы кластера (ATLAS + SPDROOT) на данных этапа 3 с уменьшенной в 5 раз выборкой.

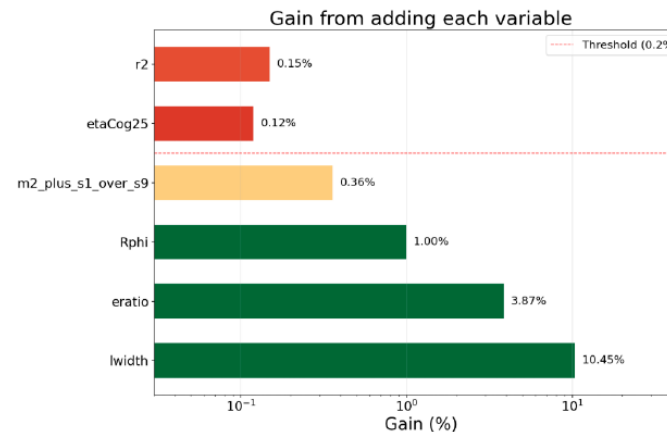


Рисунок 3.32 — Gain при добавлении наблюдаемых (кроме 1-й — ΔE) для классификатора прямоугольных отборов

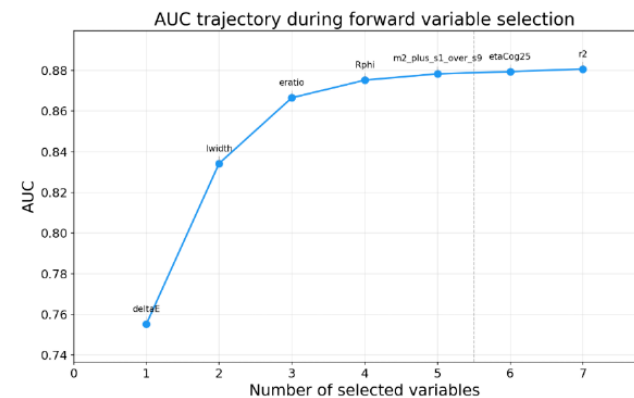


Рисунок 3.33 — ROC AUC в зависимости от числа добавленных наблюдаемых для классификатора прямоугольных отборов

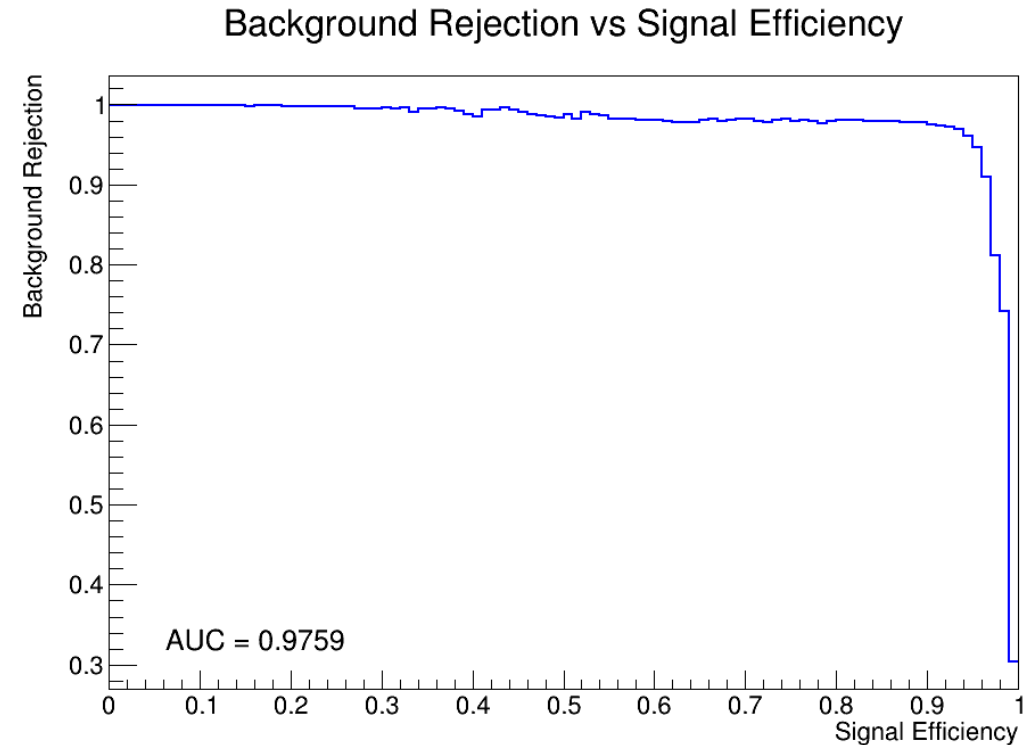
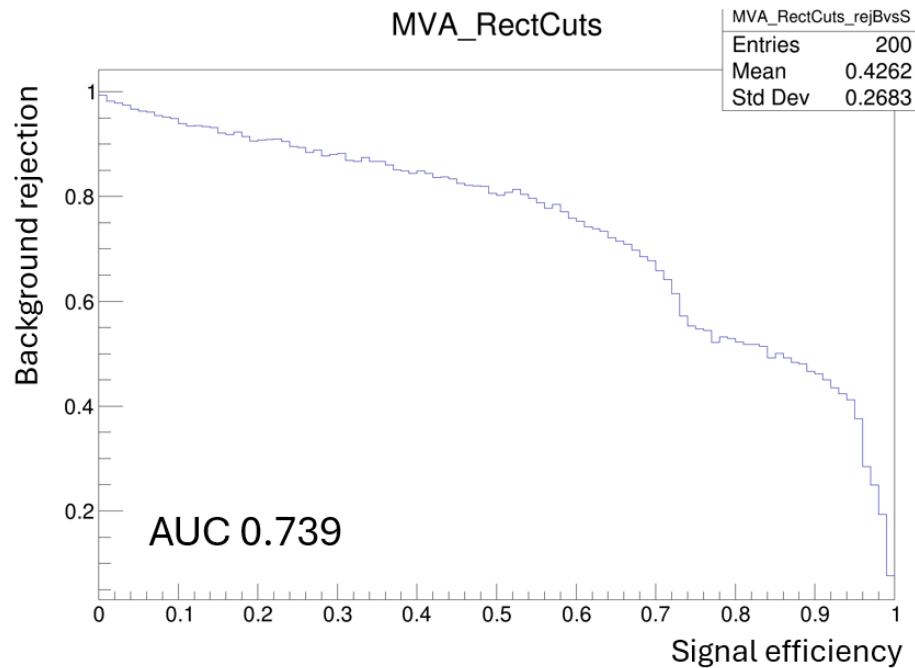
minbias: 400000 событий (самые частые кластеры)

```
=== PDG Cluster Particles Combination Counts (Top 20) ===
 1. [gamma, pi0] (22,111): 1304565 entries
 2. [e-, gamma, pi0] (11,22,111): 56583 entries
 3. [e+, gamma, pi0] (-11,22,111): 52465 entries
 4. [gamma, gamma, pi0] (22,22,111): 31151 entries
 5. [e+, e-, gamma, pi0] (-11,11,22,111): 22914 entries
 6. [gamma] (22): 16795 entries
 7. [gamma, gamma, pi0, pi0] (22,22,111,111): 15931 entries
 8. [e-, gamma, gamma, pi0] (11,22,22,111): 15237 entries
 9. [e+, e-, gamma, gamma, pi0] (-11,11,22,22,111): 14782 entries
10. [e+, gamma, gamma, pi0] (-11,22,22,111): 13862 entries
11. [e+, e-, gamma, gamma, gamma, pi0] (-11,11,22,22,22,111): 8049 entries
12. [e-, gamma, gamma, gamma, pi0] (11,22,22,22,111): 6697 entries
13. [gamma, gamma, pi0, eta] (22,22,111,221): 6367 entries
14. [e+, gamma, gamma, gamma, pi0] (-11,22,22,22,111): 6254 entries
15. [gamma, gamma, gamma, pi0] (22,22,22,111): 5613 entries
16. [e+, e-, gamma, gamma, gamma, gamma, pi0] (-11,11,22,22,22,22,111): 4040 entries
17. [e-, gamma, gamma, gamma, gamma, pi0] (11,22,22,22,22,111): 2667 entries
18. [e+, gamma, gamma, gamma, gamma, pi0] (-11,22,22,22,22,111): 2558 entries
19. [e-, pi0] (11,111): 2351 entries
20. [e+, pi0] (-11,111): 2335 entries
```

~15000 событий γ и π^0 перпендикулярно баррелю (самые частые кластеры)

```
=== PDG Cluster Particles Combination Counts (Top 20) ===  
1. [ $\gamma$ ] (22): 19752 entries  
2. [ $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (22,22,111): 10614 entries  
3. [ $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (22,111): 2873 entries  
4. [ $e^-$ ,  $\gamma$ ] (11,22): 206 entries  
5. [ $e^-$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (11,22,22,111): 148 entries  
6. [ $\gamma$ ,  $\gamma$ ] (22,22): 73 entries  
7. [ $e^-$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (11,22,111): 63 entries  
8. [ $e^+$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (-11,22,111): 61 entries  
9. [ $e^+$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (-11,22,22,111): 43 entries  
10. [ $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (22,22,22,111): 22 entries  
11. [ $e^+$ ,  $e^-$ ,  $\gamma$ ] (-11,11,22): 15 entries  
12. [ $e^+$ ,  $e^-$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (-11,11,22,22,111): 15 entries  
13. [ $e^+$ ,  $\gamma$ ] (-11,22): 8 entries  
14. [ $e^+$ ,  $e^-$ ,  $e^-$ ,  $\gamma$ ] (-11,11,11,22): 3 entries  
15. [ $e^+$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (-11,22,22,22,111): 3 entries  
16. [ $e^-$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ] (11,22,22): 2 entries  
17. [ $e^-$ ,  $e^-$ ,  $\gamma$ ] (11,11,22): 2 entries  
18. [ $e^-$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (11,22,22,22,111): 2 entries  
19. [ $e^+$ ,  $e^-$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (-11,11,22,111): 2 entries  
20. [ $e^-$ ,  $e^-$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ] (11,11,22,22,111): 1 entries
```

Сравнение фикс отборов до и после отбора на подтип кластера (набор наблюдаемых из эксперимента ATLAS, запуск частиц перпендикулярно баррелю)



- Фон: все кластеры от π^0
 - Сигнал: все кластеры от γ
-
- Ступенька скорее всего является следствием кластеров вида $[\pi^0, \gamma]$ добавленных в фон, а не сигнал в датасете для кривой слева. Общее качество кривой слева занижено по этой же причине, кроме того отрицательное влияние могут оказывать конвертированные фотоны и др. редкие подтипы кластеров.

Сравнение оценок BDT с ростом энергии частиц

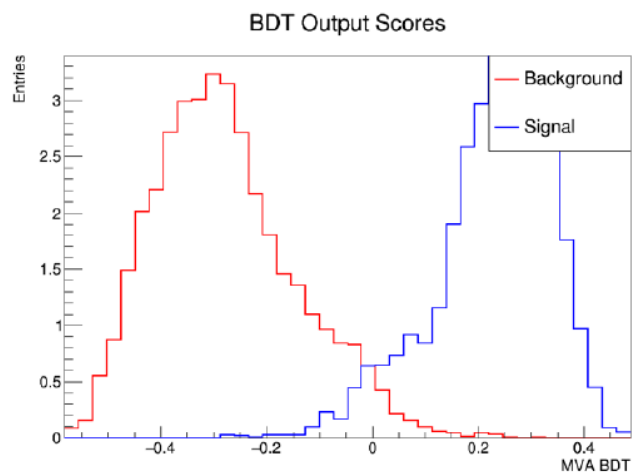


Рисунок 3.20 — BDT-оценки классификатора, полученные для случая: γ/π^0 , запущенных с энергией 2 ГэВ; использованы все наблюдаемые; подобраны лучшие гиперпараметры

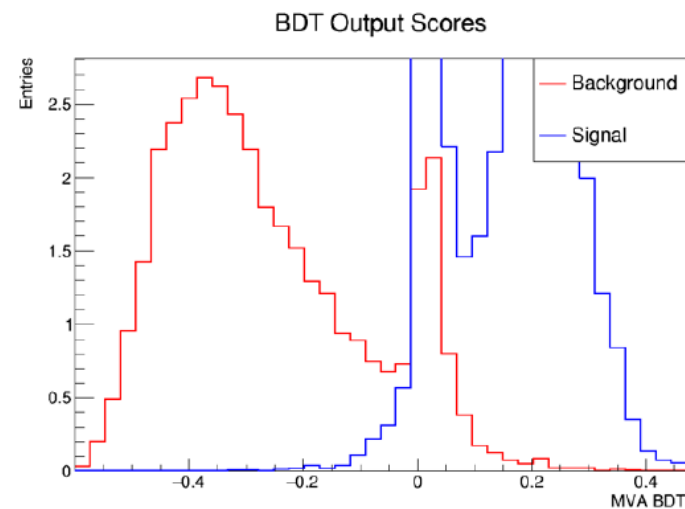
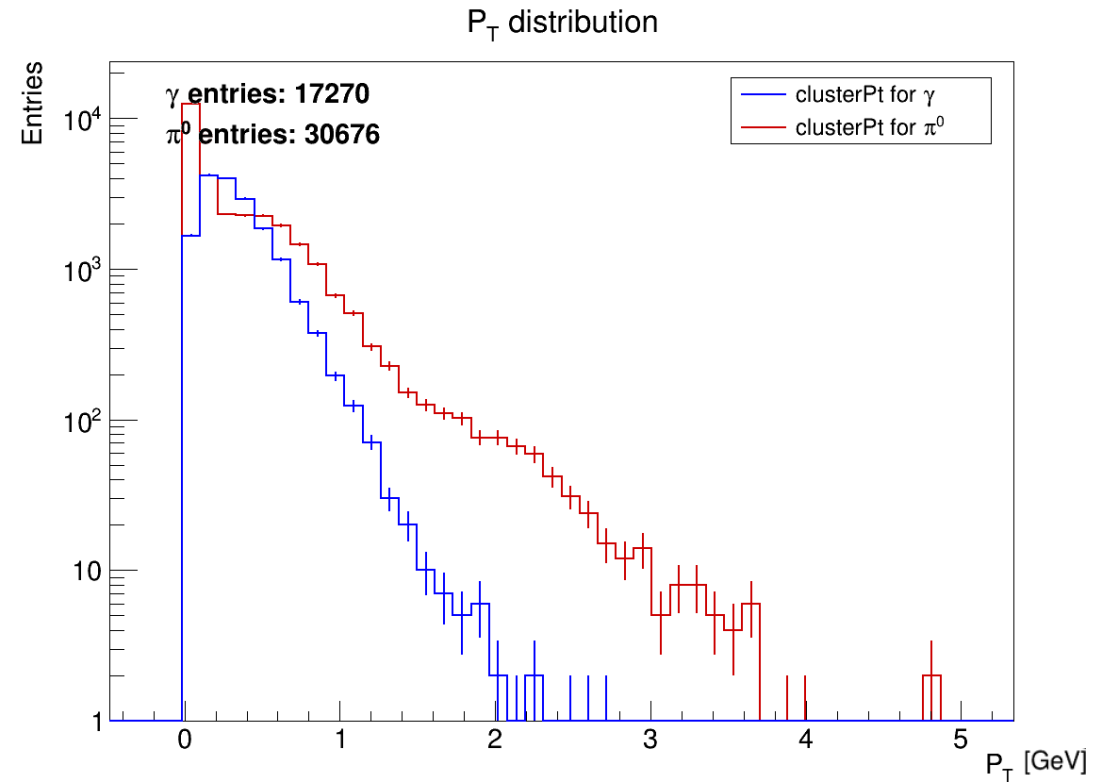
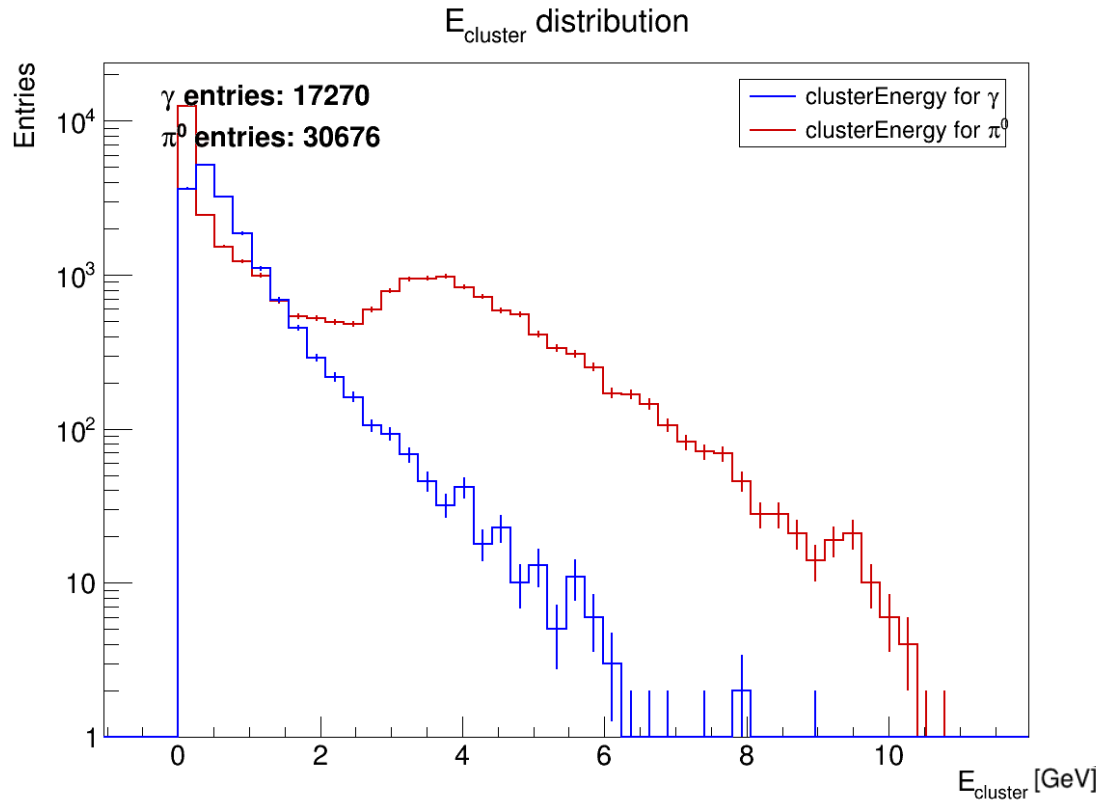


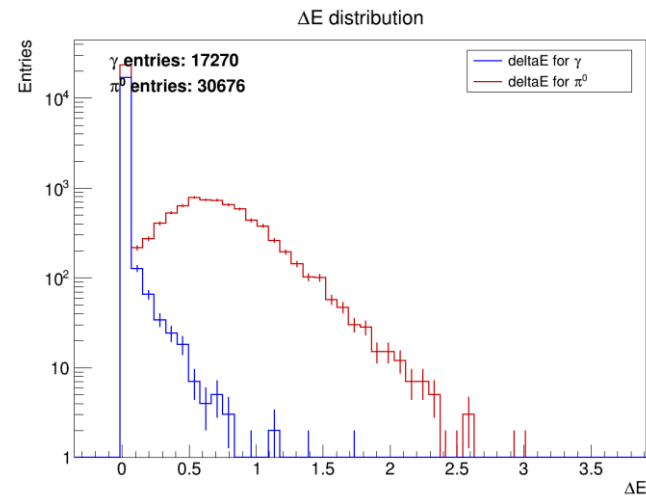
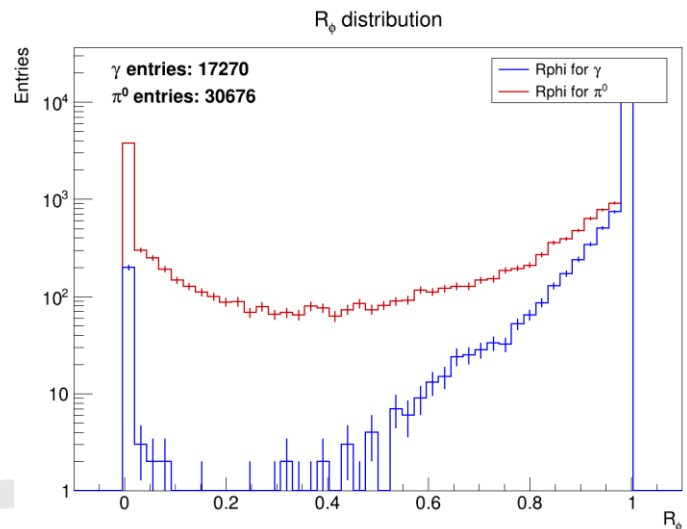
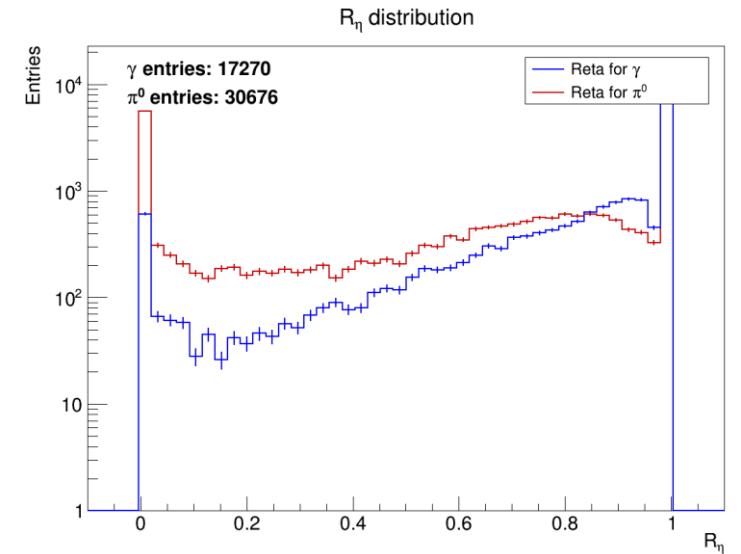
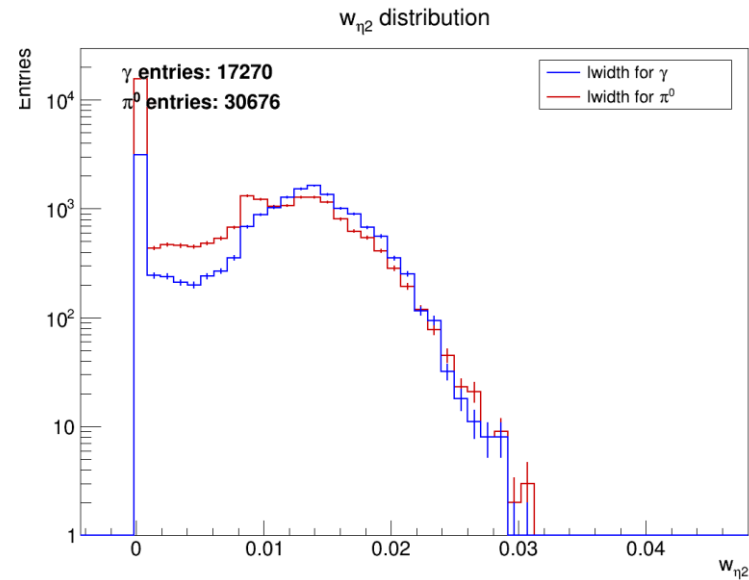
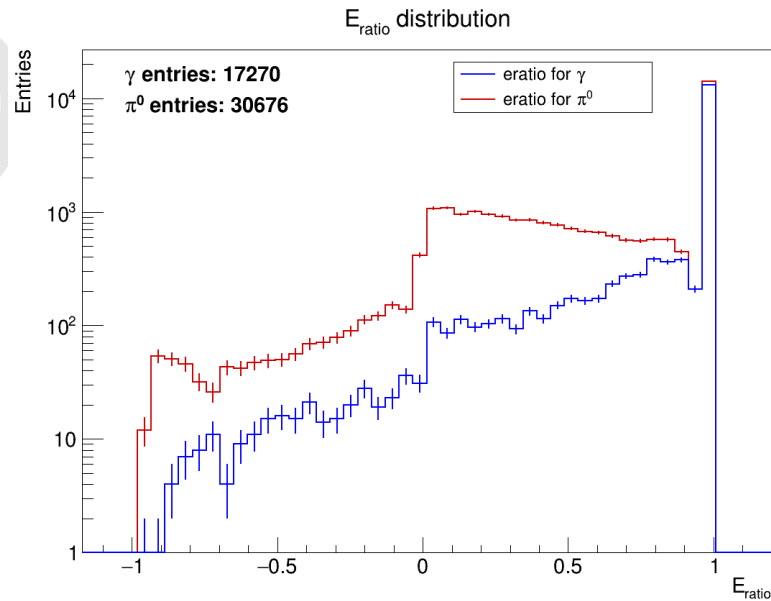
Рисунок 3.24 — BDT-оценки классификатора, полученные для случая: γ/π^0 , запущенных с энергией 8 ГэВ; использованы все наблюдаемые; подобраны лучшие гиперпараметры

- Причиной роста пика в 0 вероятно является увеличение числа сложно классифицируемых кластеров с ростом энергии (поскольку расстояние между гамма-квантами от пионов уменьшается с увеличением энергии)

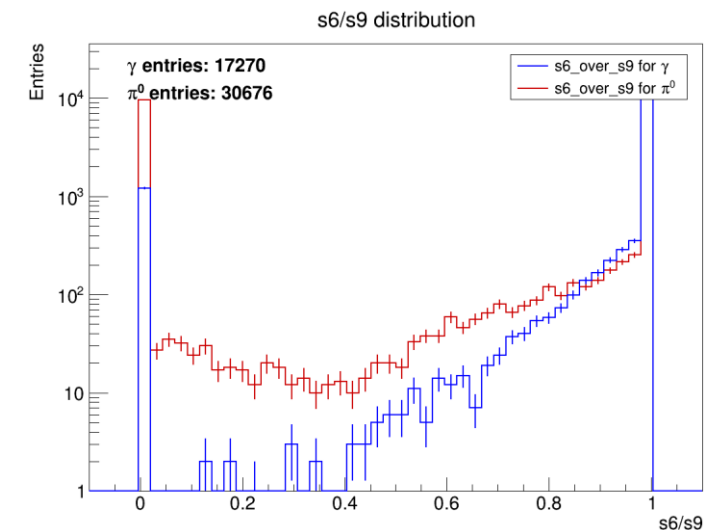
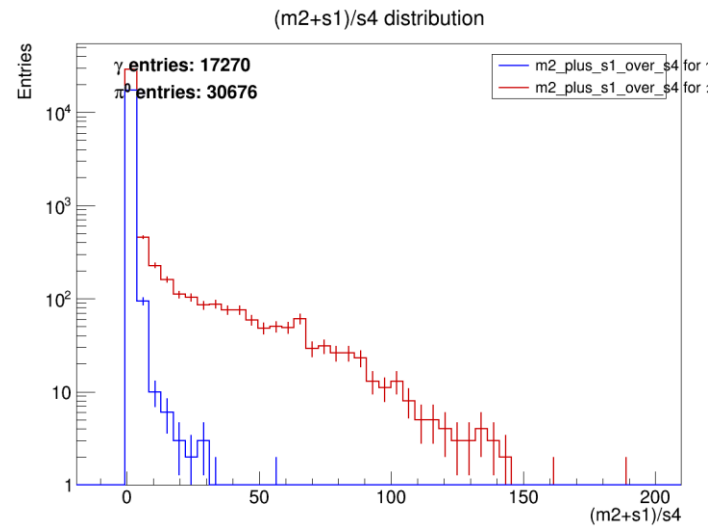
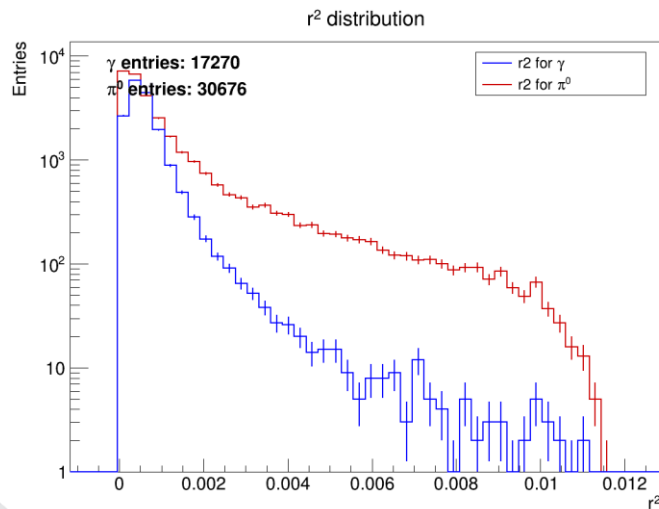
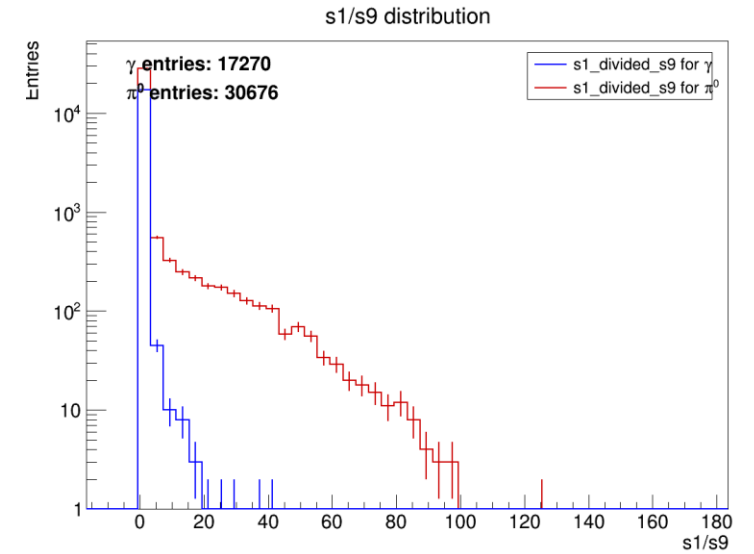
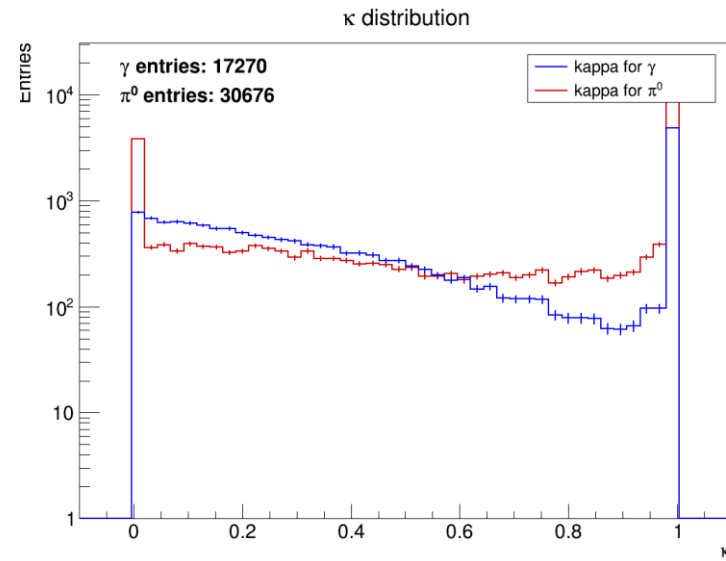
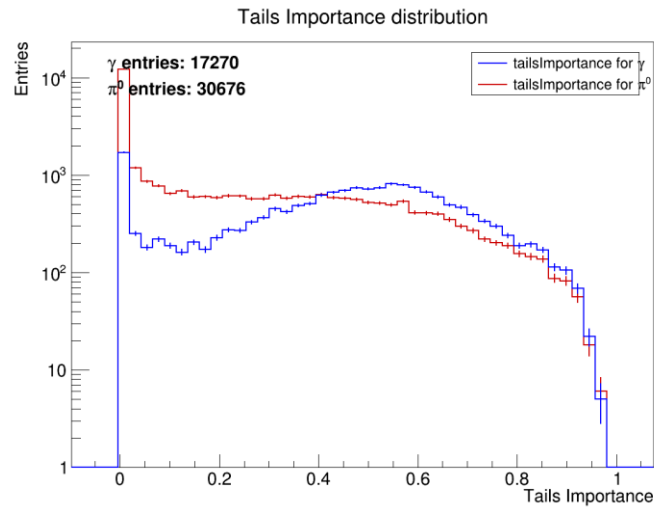
Гистограммы minbias (400000 событий, pp-столкновения, 27 GeV): только кластеры вида [гамма], [гамма, гамма, пи0]



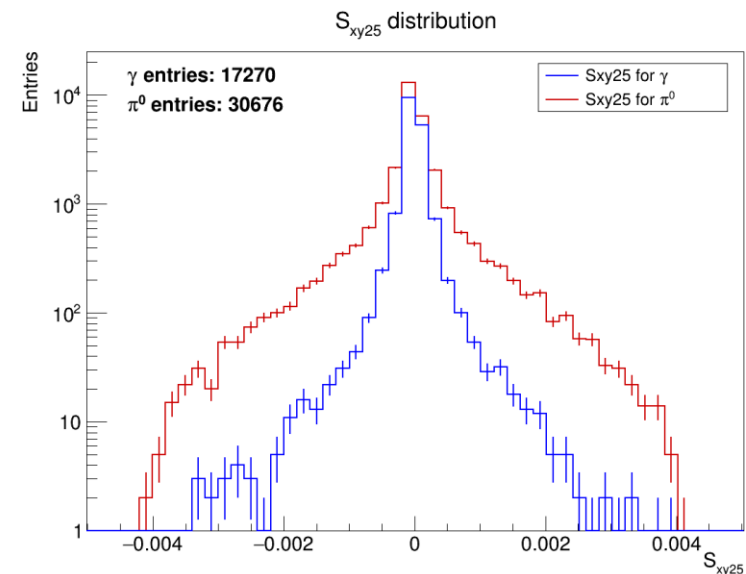
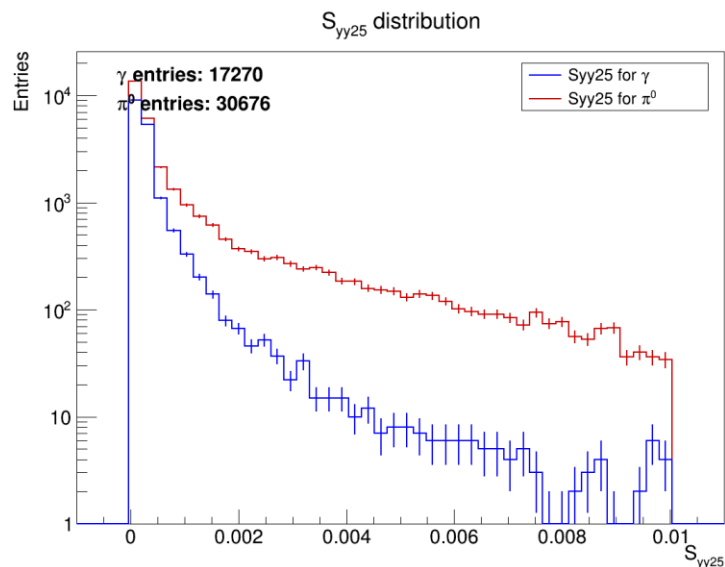
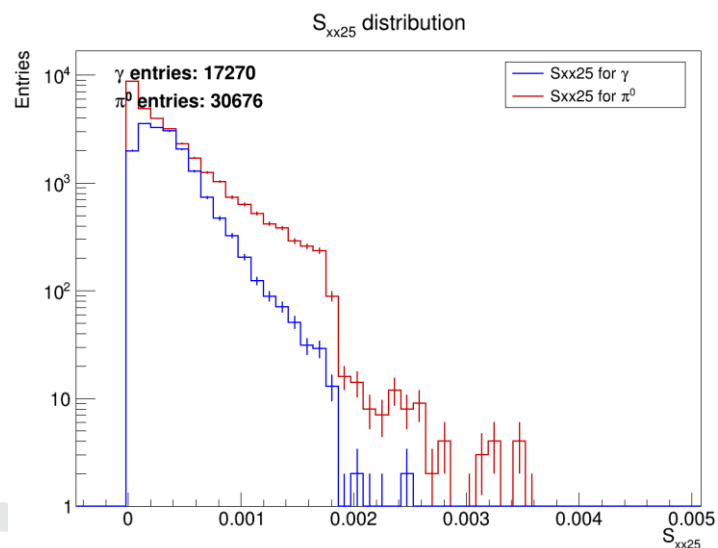
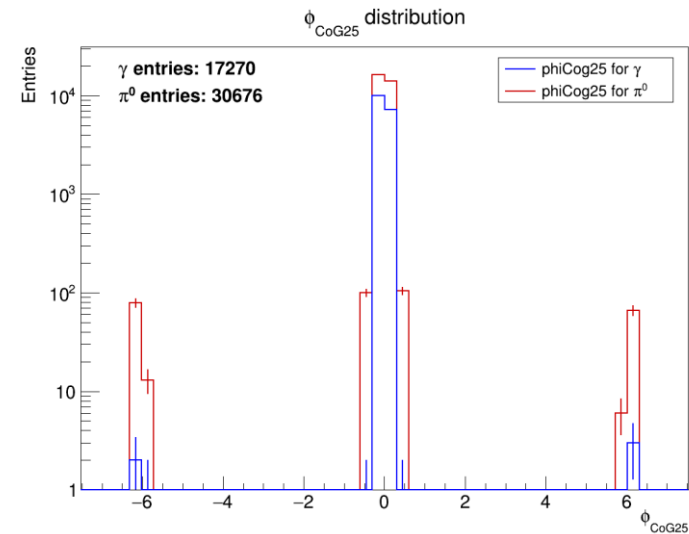
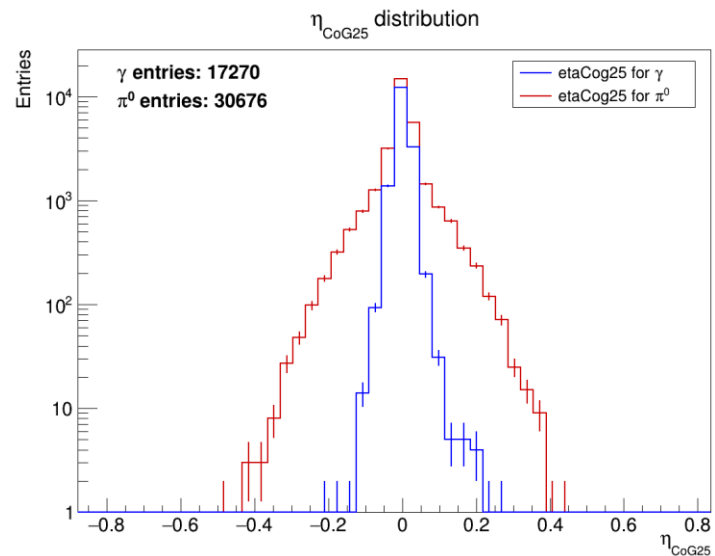
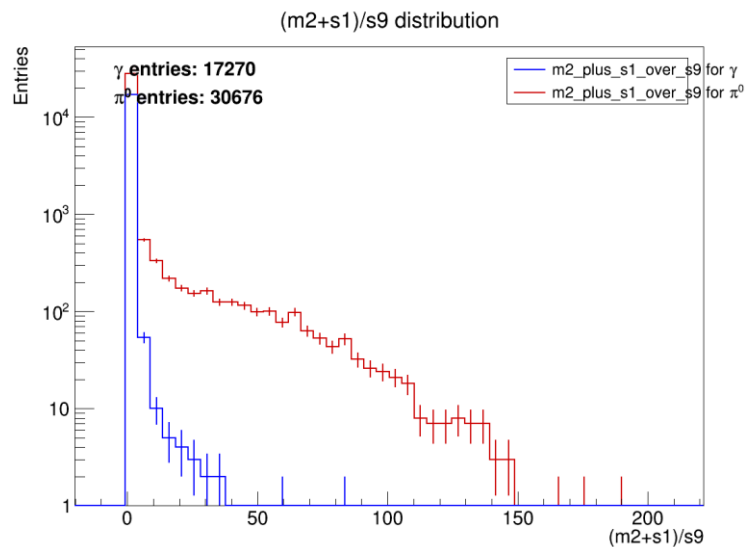
Гистограммы minbias (400000 событий, pp-столкновения, 27 GeV): только кластеры вида [гамма], [гамма, гамма, пи0]



Гистограммы minbias (400000 событий, pp-столкновения, 27 GeV): только кластеры вида [гамма], [гамма, гамма, пи0]



Гистограммы minbias (400000 событий, pp-столкновения, 27 GeV): только кластеры вида [гамма], [гамма, гамма, пи0]



Версия minbias

Production name/ID	Status	Description					Software type/version	Short description (for datasets naming)
		Stage	Collision type	Geometry type	Energy	Polarization		
PROD2025-020	Done	S2	pp	DSSD, TS, TOF, ECal, FARICH, RS, BBC, ZDC (sketch)	27 GeV	UU	spdroot-dev-4.1.7.4	minbias-P8-spdroot4174-dev

Карта попаданий электромагнитного калориметра

