

Моделирование сигналов с помощью генеративно-состязательных нейронных сетей для ICPC детекторов в эксперименте LEGEND

Зарецкий Н. Д.

Научный руководитель: Черногоров А. Е.

Национальный исследовательский ядерный университет <<МИФИ>>

27.01.2023

Калибровка детекторов

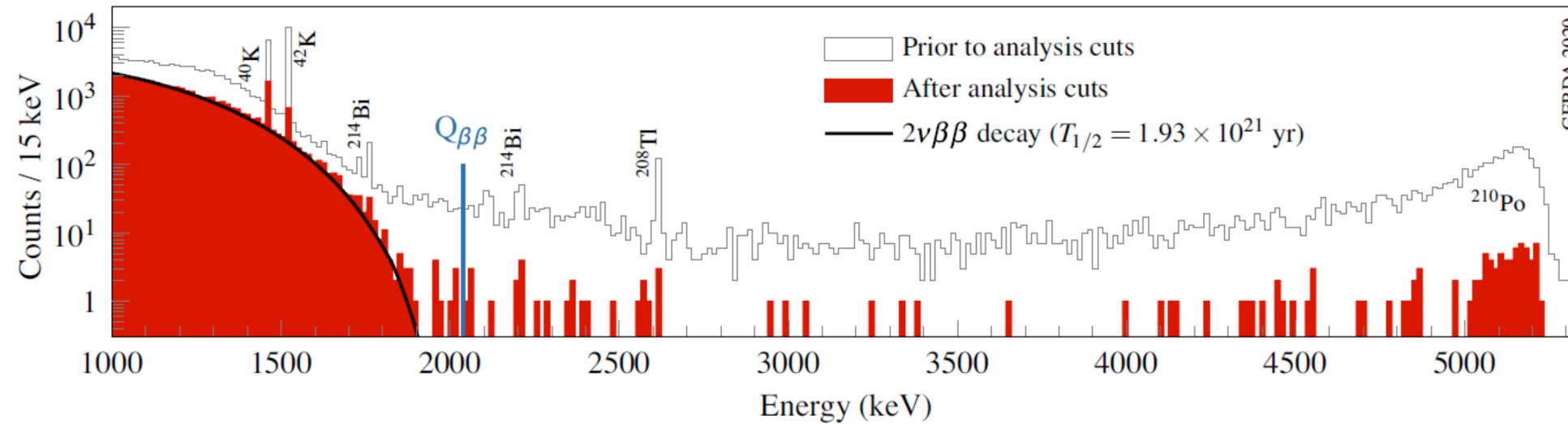


Рисунок 3 - Энергетический спектр с эксперимента GERDA

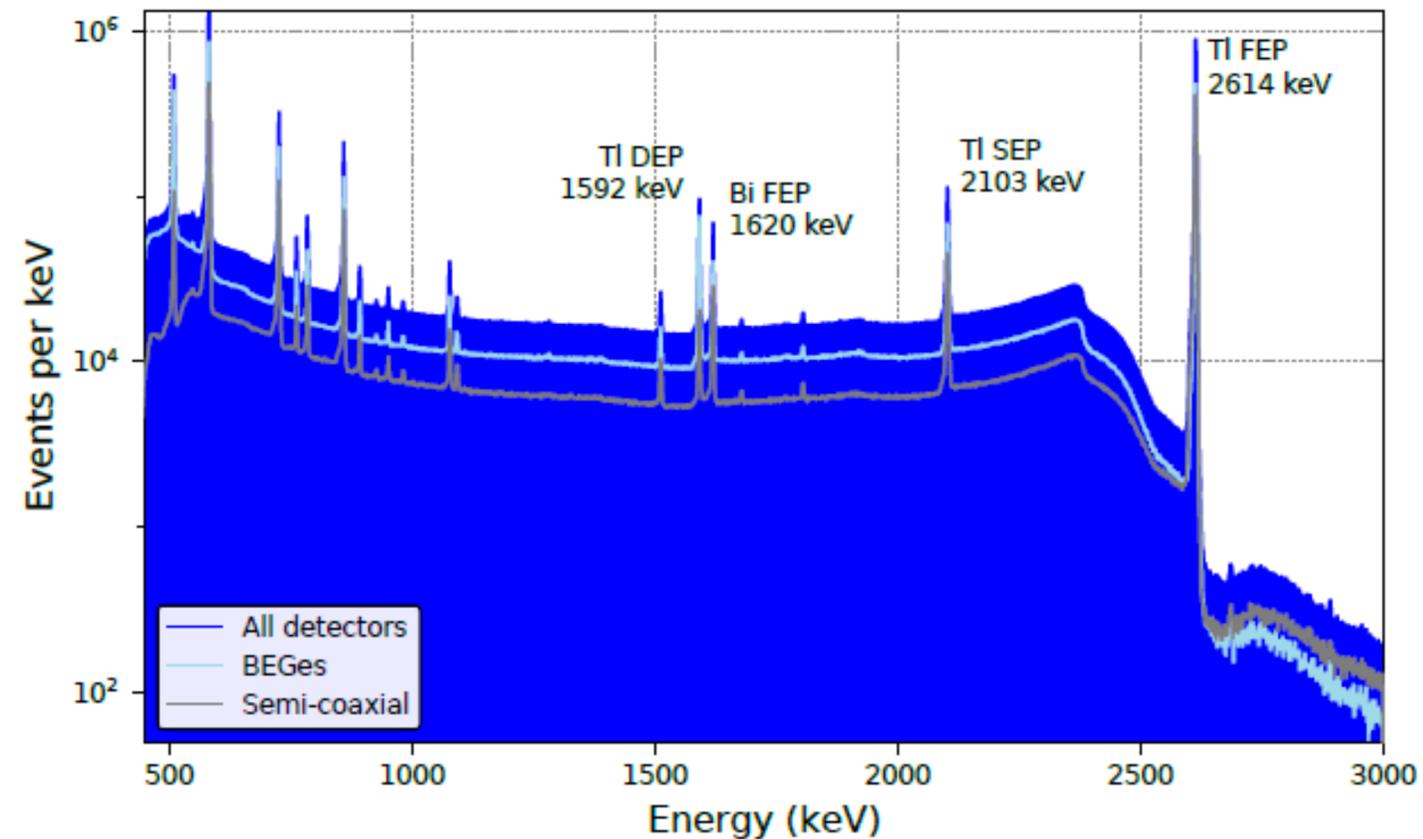
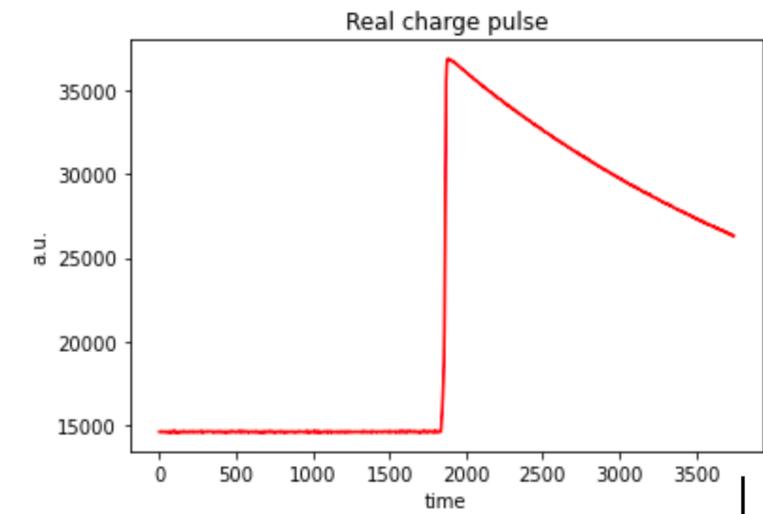


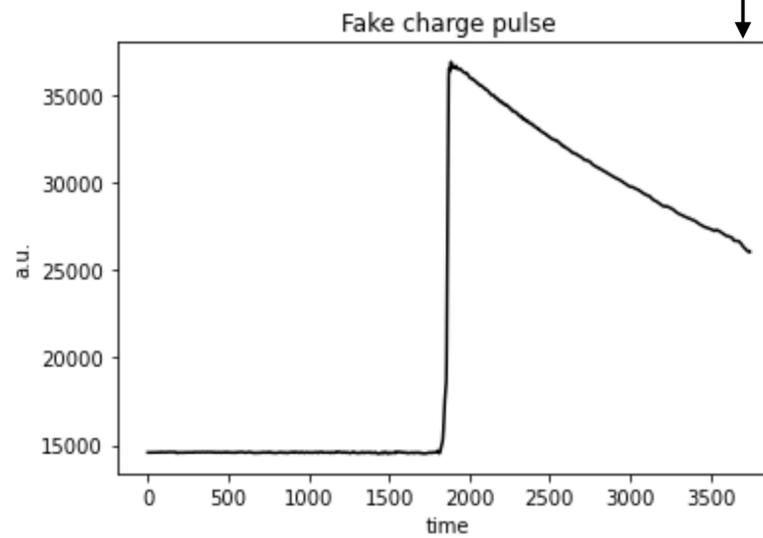
Рисунок 4 - Энергетический спектр ^{228}Th

Входные данные



Входные данные

GAN



Результат

Рисунок 5 - Схема работы GAN

Real DEP

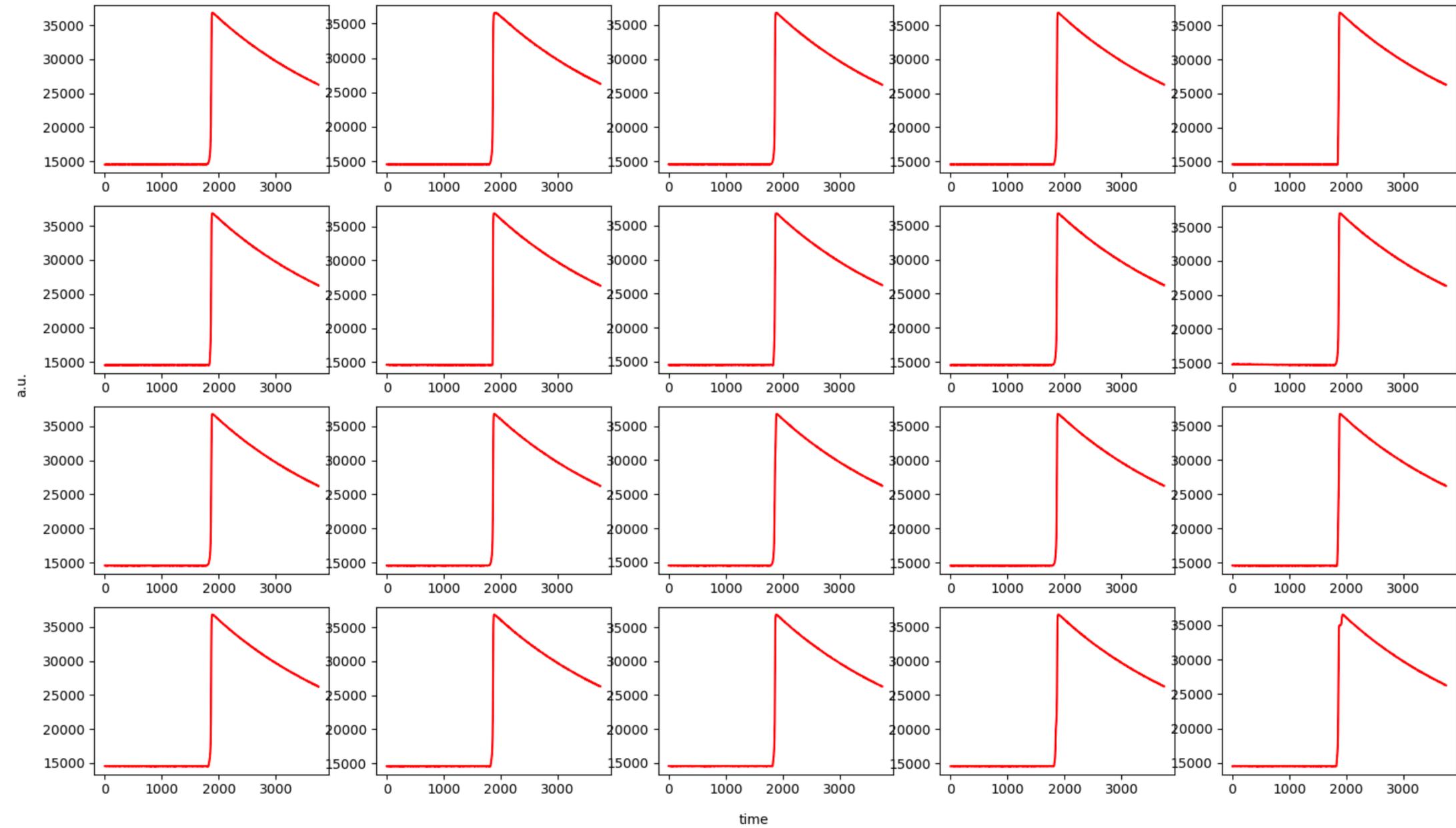
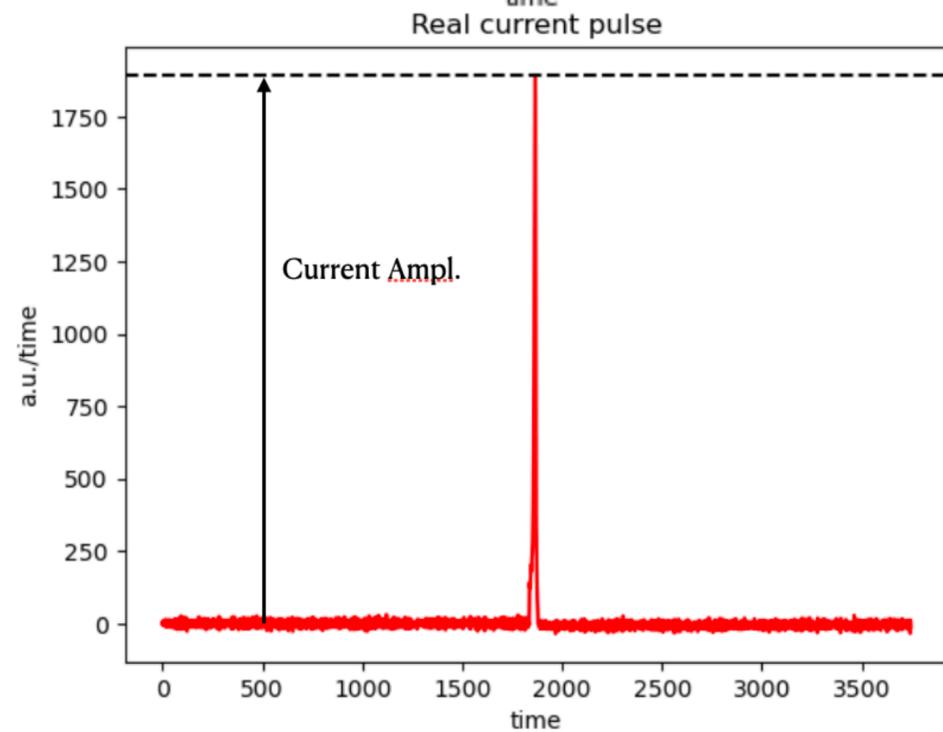
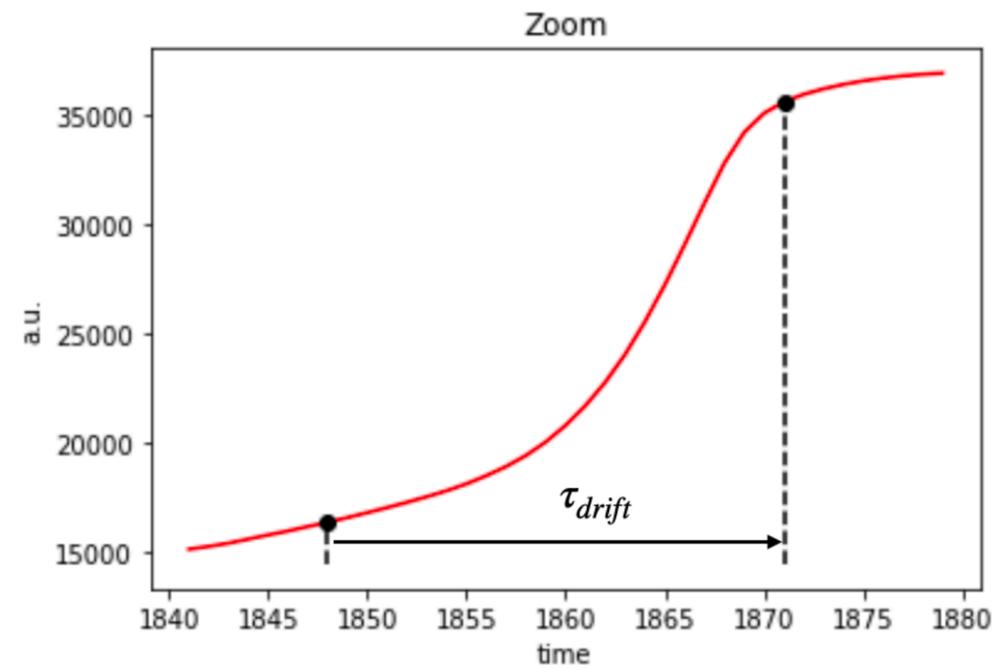
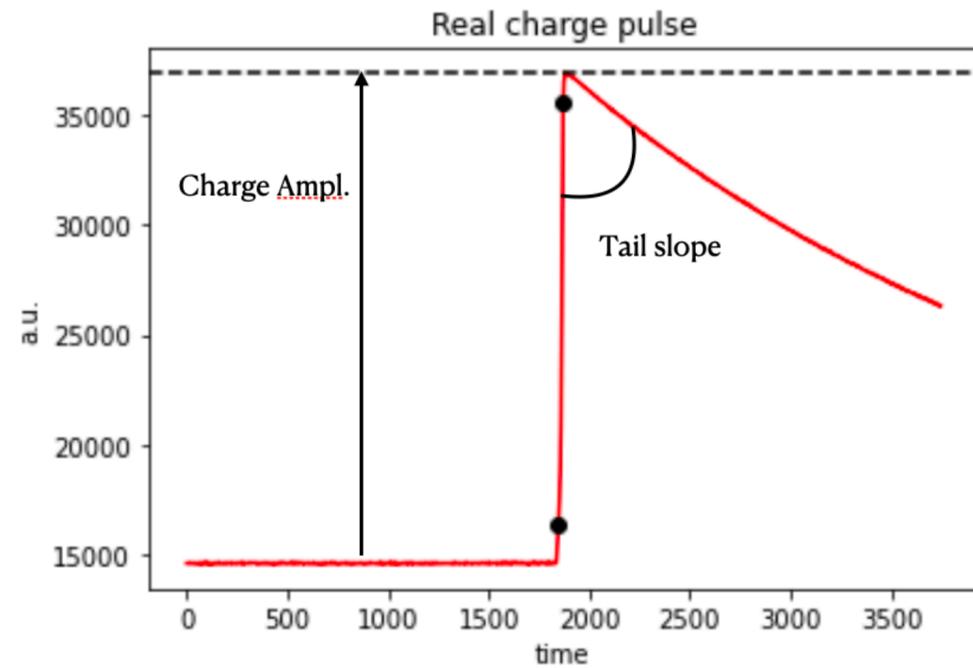


Рисунок 6 - Пример входных данных

Оценка правдоподобия синтезированных сигналов



Для сравнения синтезированных данных с реальными были использованы 4 параметра:

- Амплитуда зарядового импульса
- Амплитуда токового импульса
- Угол наклона хвостовой части зарядового импульса
- Время дрейфа τ_{drift}

Рисунок 7 - Параметры, используемые для оценки правдоподобия синтезированных данных

GAN без использования автокодировщика

Fake DEP

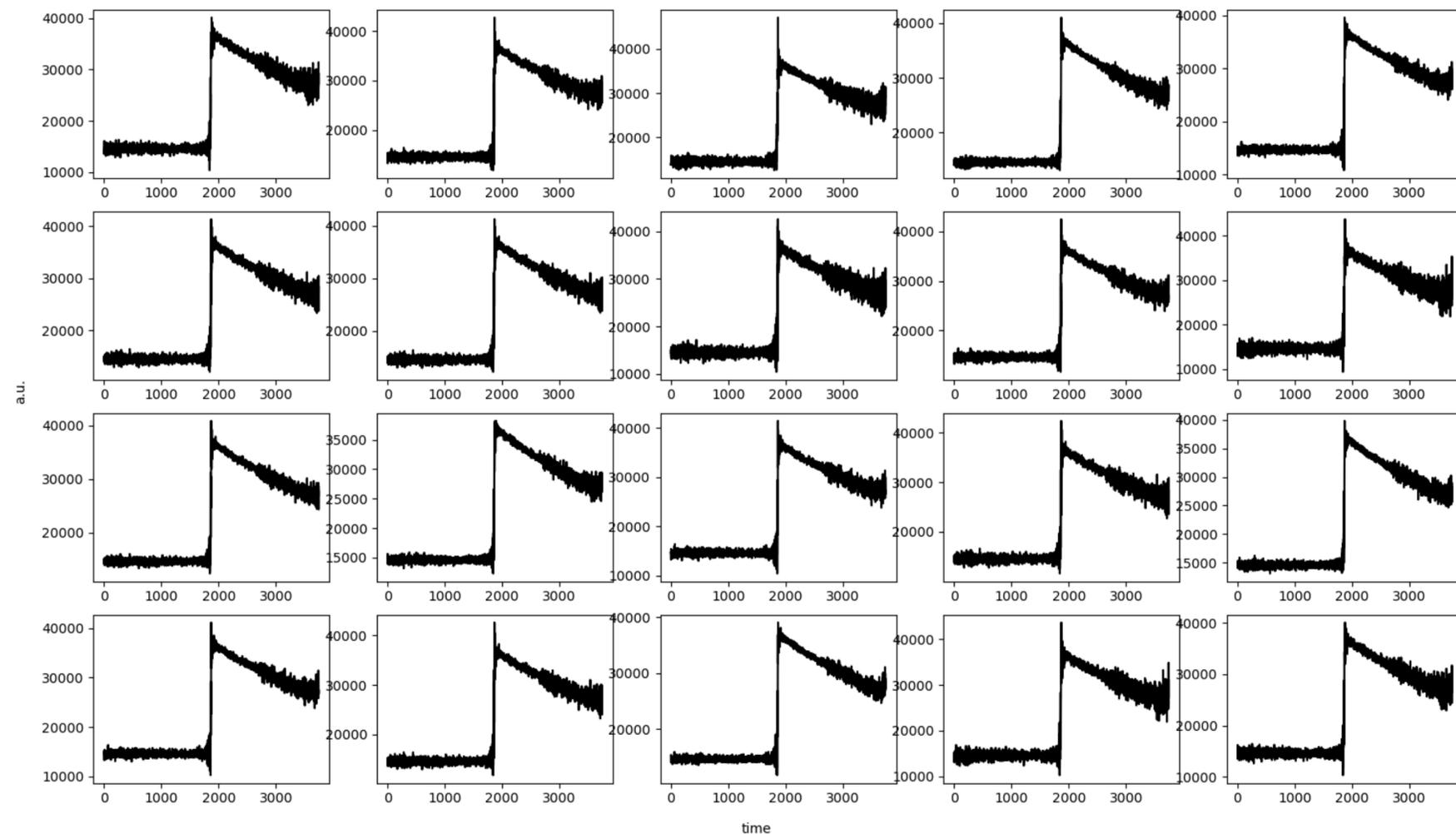
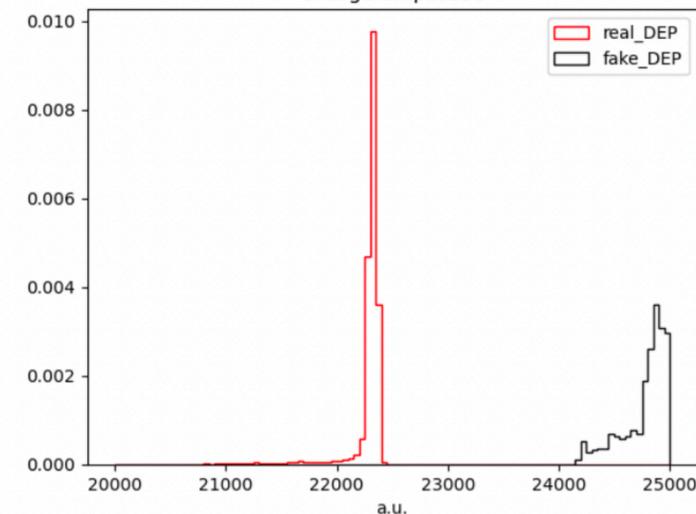
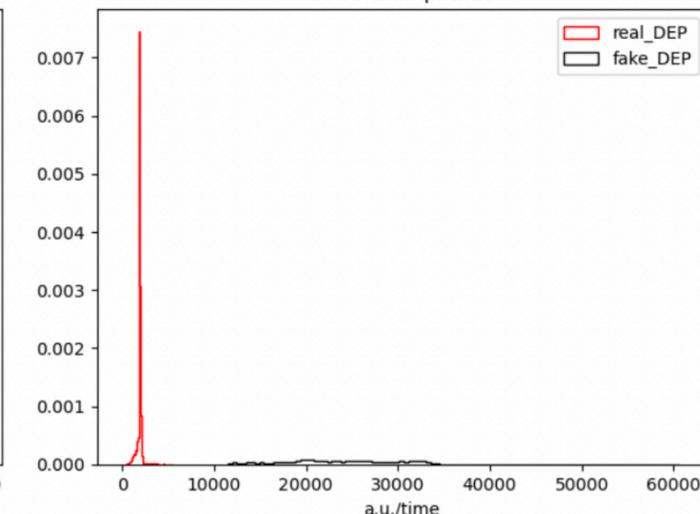


Рисунок 8 - Примеры импульсов, полученные в результате обучения minimax GAN

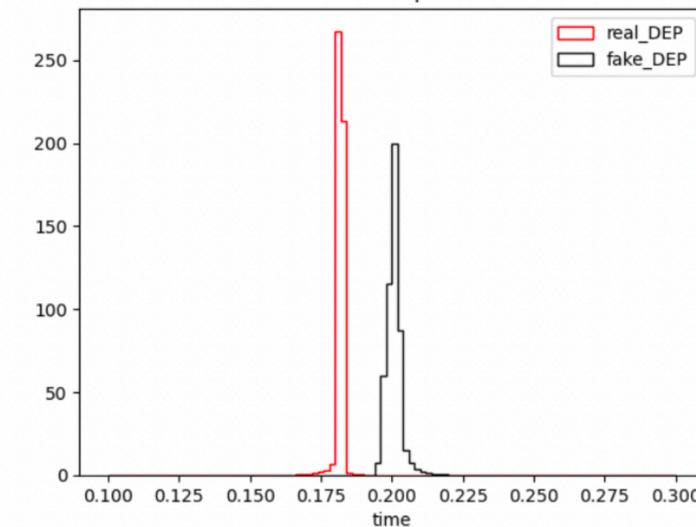
Charge amplitude



Current amplitude



Tail slope



Drift time

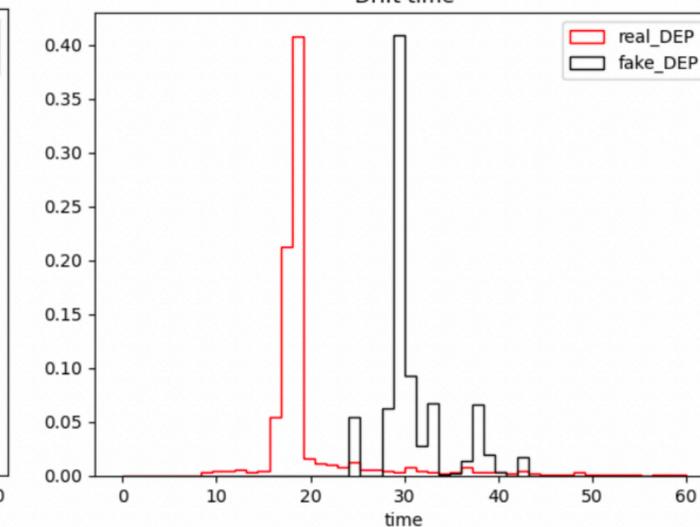


Рисунок 9 - Распределения параметров импульсов, полученных в результате обучения minimax GAN

GAN с использованием автокодировщика

Fake DEP

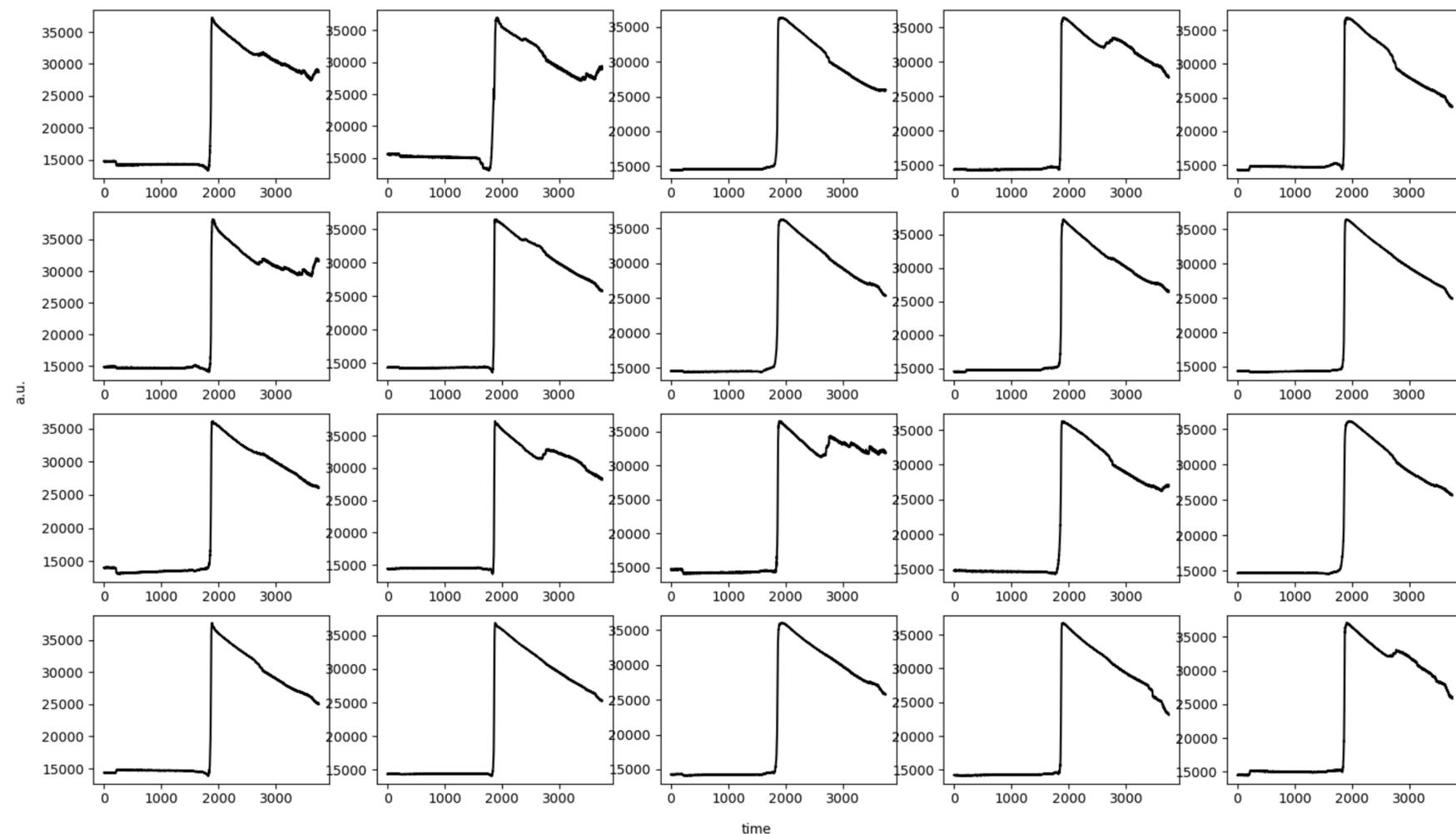
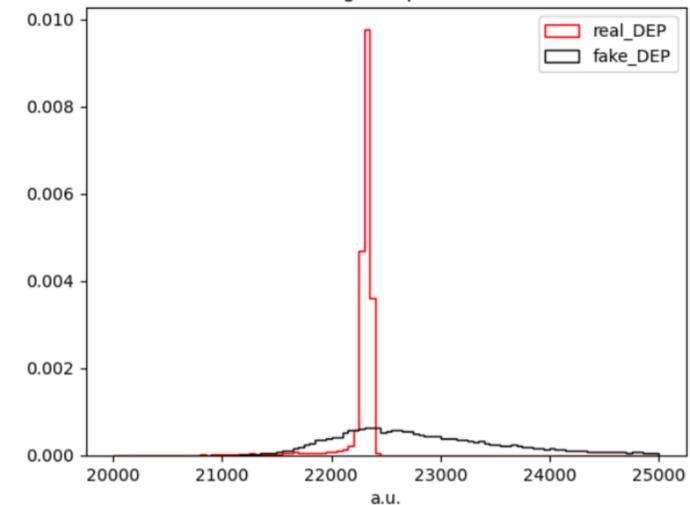
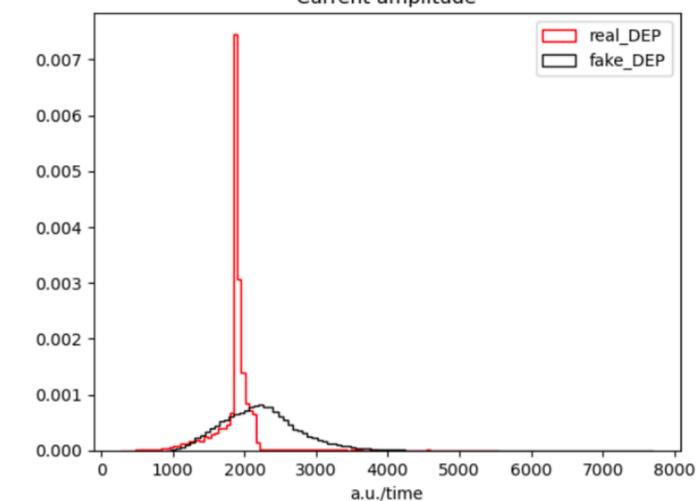


Рисунок 10 - Примеры импульсов, полученные в результате обучения minimax GAN с автокодировщиком

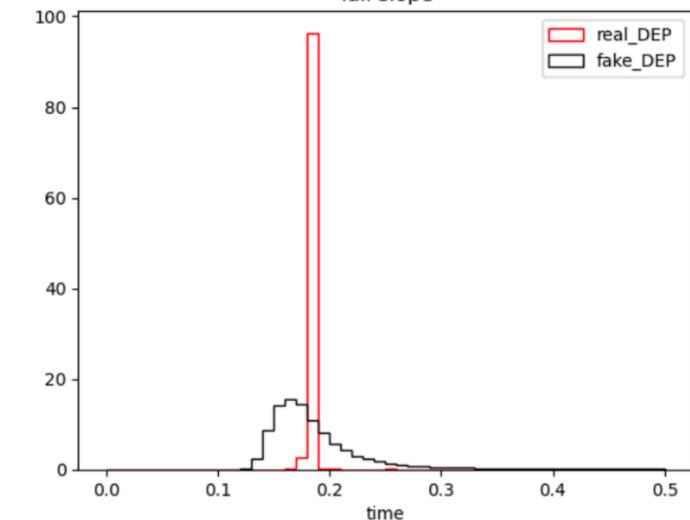
Charge amplitude



Current amplitude



Tail slope



Drift time

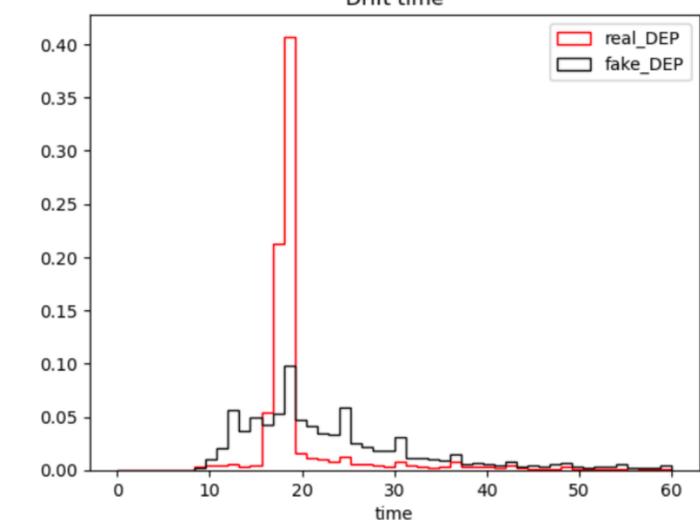


Рисунок 11 - Распределения параметров импульсов, полученных в результате обучения minimax GAN с автокодировщиком

GAN с использованием PCA

Fake DEP

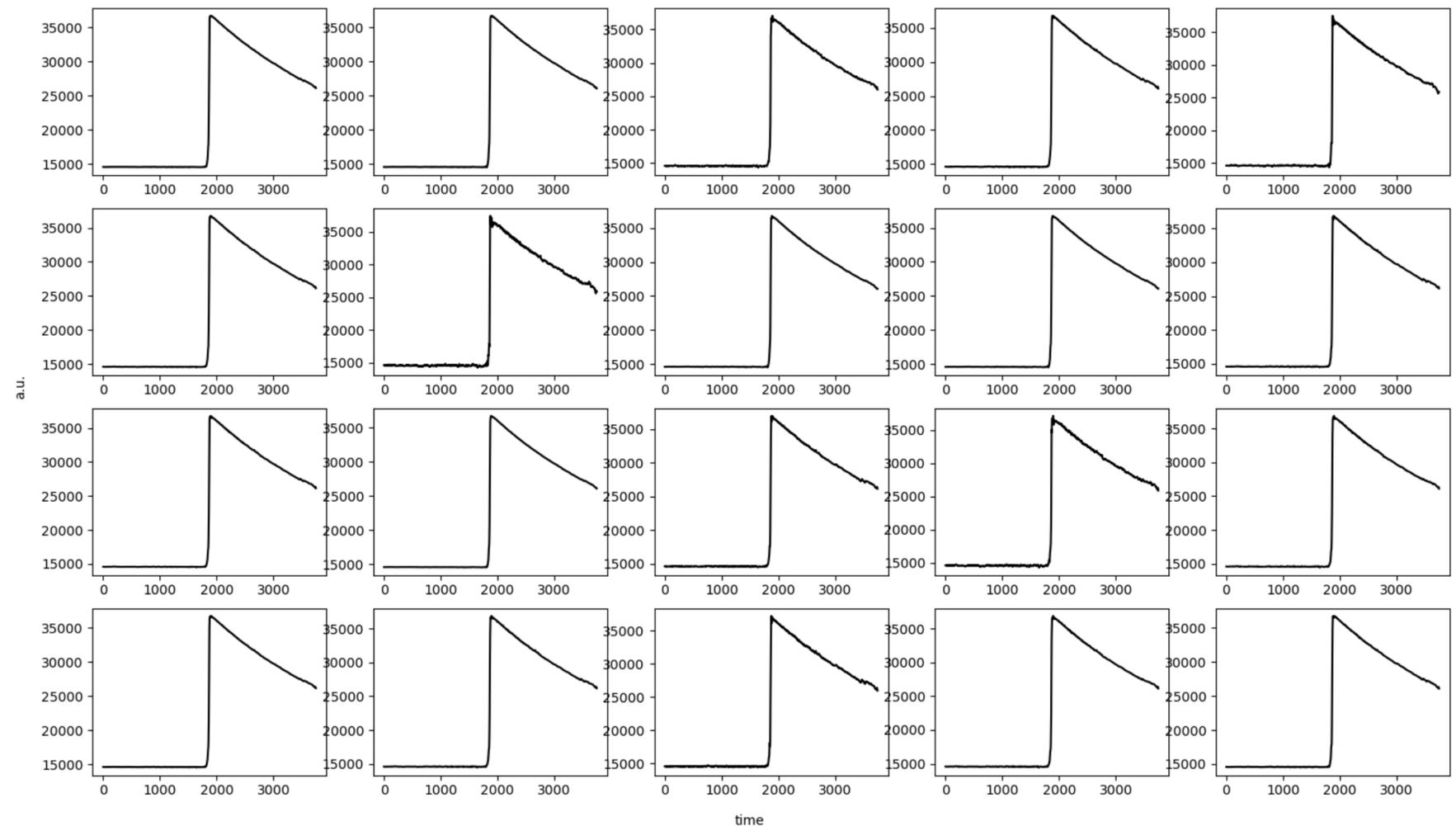
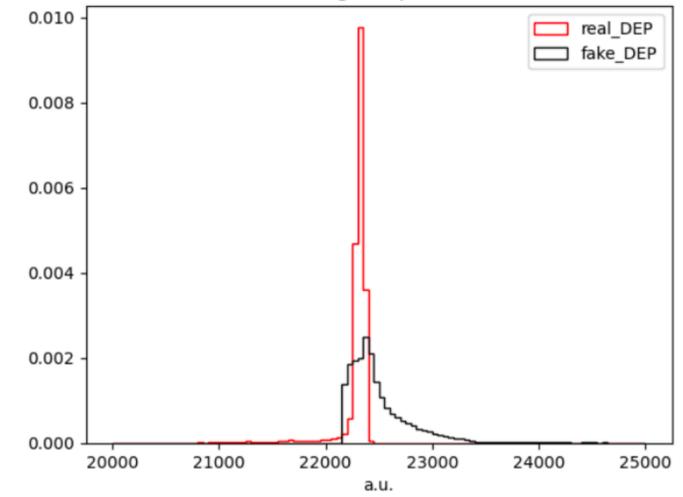
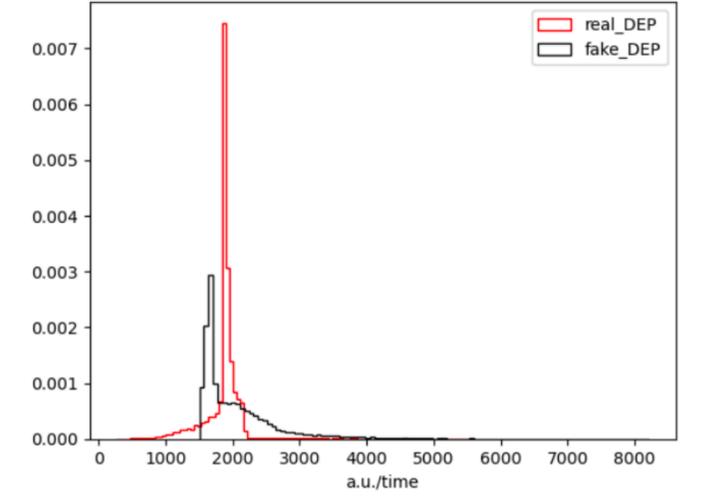


Рисунок 12 - Примеры импульсов, полученные в результате обучения minimax GAN с PCA

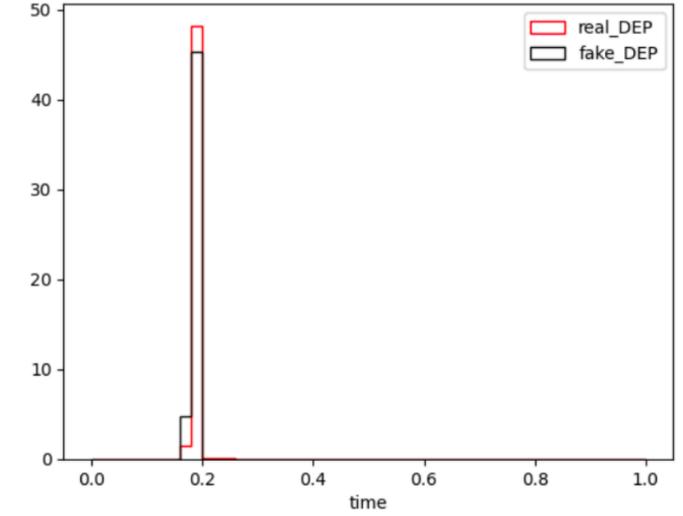
Charge amplitude



Current amplitude



Tail slope



Drift time

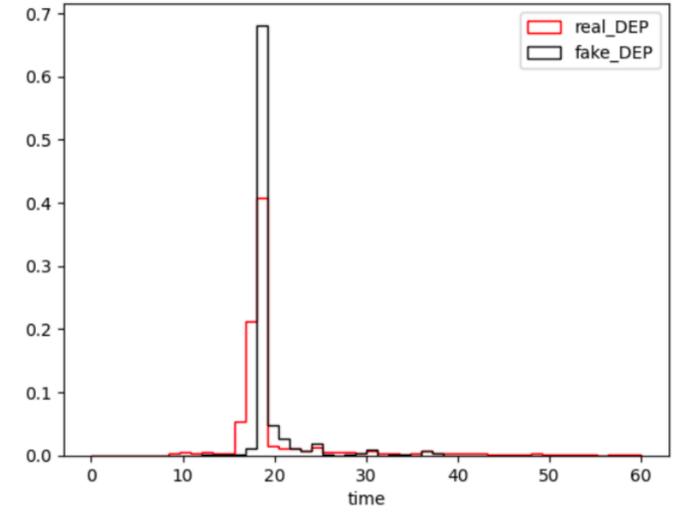
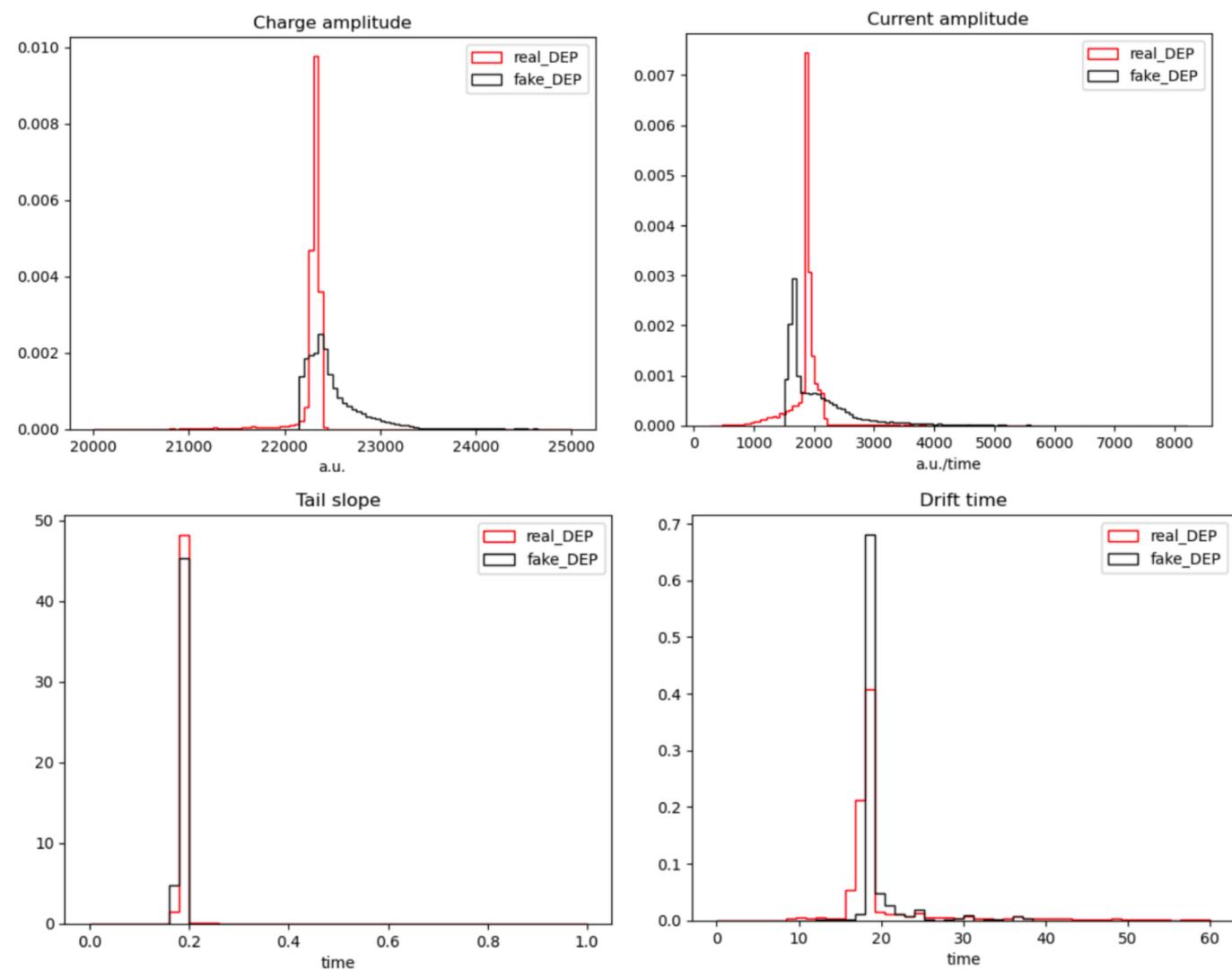


Рисунок 13 - Распределения параметров импульсов, полученных в результате обучения minimax GAN с PCA

Критерии отбора



Критерии отбора:

- $22270 \text{ a.u.} < \text{Charge amplitude} < 22350 \text{ a.u.}$
- $1850 \text{ a.u./time} < \text{Current amplitude} < 2000 \text{ a.u./time}$

Рисунок 14 - Распределения параметров

импульсов, полученных в результате обучения

minimax GAN с автокодировщиком

GAN с использованием PCA

Fake DEP

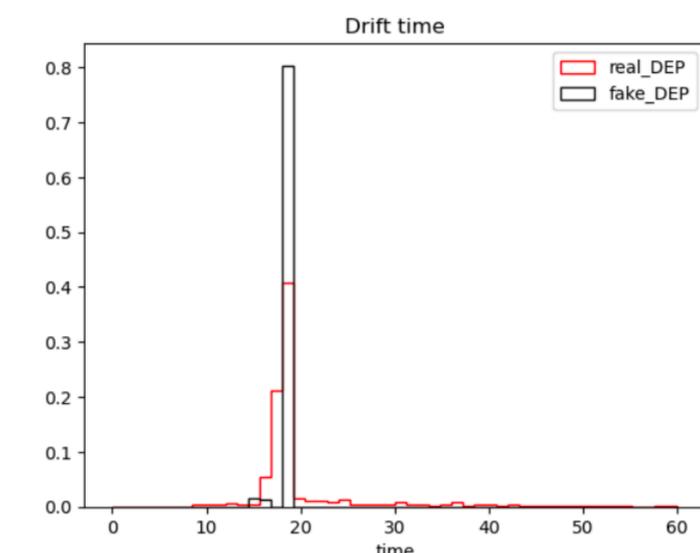
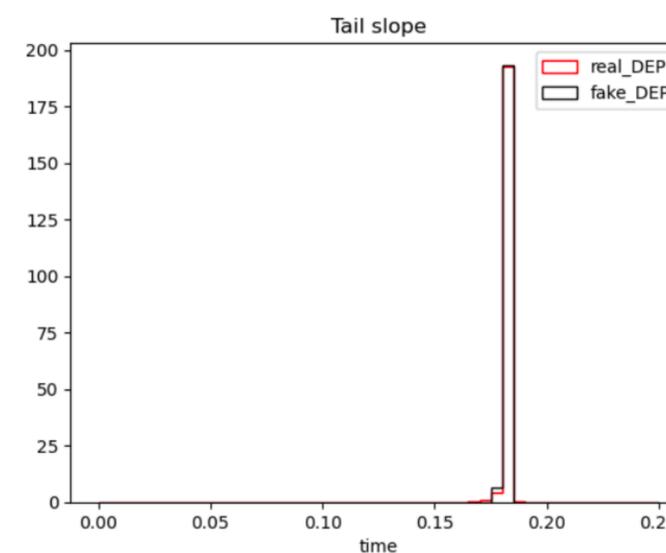
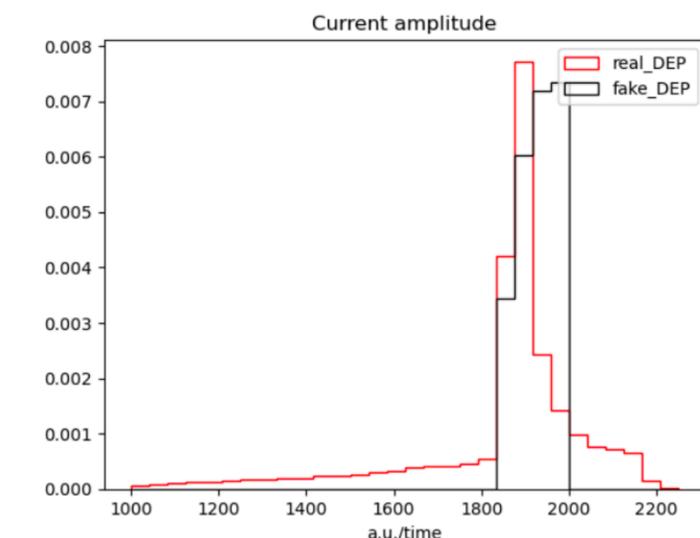
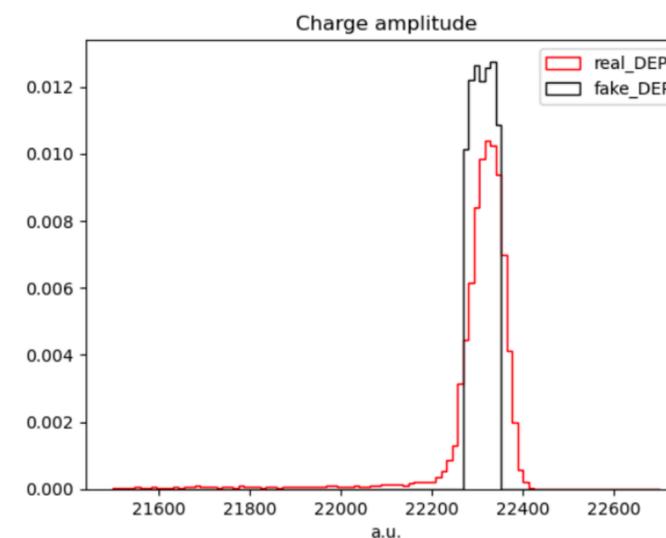
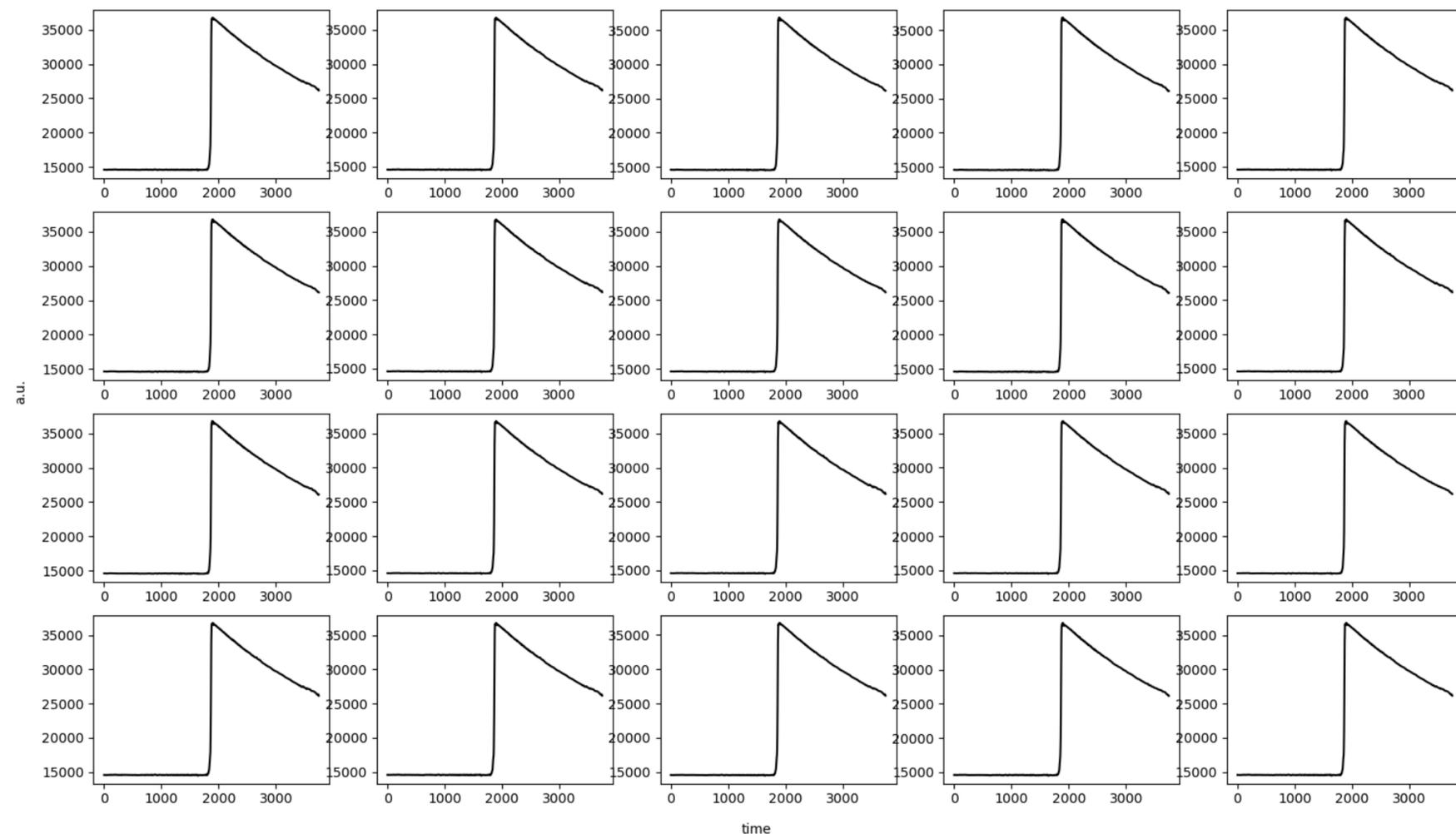


Рисунок 15 - Примеры импульсов, полученные в результате обучения minimax GAN с PCA после применения критериев отбора

Рисунок 16 - Распределения параметров импульсов, полученных в результате обучения minimax GAN с PCA после применения критериев отбора

Результаты

- Наиболее приемлемый результат был достигнут в модели **minimax GAN** с применением метода главных компонент
- Критерии отбора для этой модели сильно сокращают статистику
- Проблемы с генерацией данных, возможно, связаны со сложностями при обучении GAN
- Анализ будет продолжен с использованием диффузионных генеративных моделей вместо генеративно-состязательных
- В дальнейшем анализ будет обобщен на другие типы германиевых детекторов

Back-up

Генеративно-сопоставительные сети (GAN)

- GAN применяются для генерации новых данных, которые могли бы правдоподобно присутствовать в оригинальном наборе данных
- GAN состоят из двух подмоделей (генератора и дискриминатора), обучающихся одновременно
- $\min_G \max_D \{ \log(D(x)) + \log(1 - D(G(z))) \}$ - оптимизационная задача сети GAN, где z - шум, поданный на вход генератору; $D(x)$ - «вероятность», выданная дискриминатором в процессе классификации; $G(z)$ - данные, синтезированные генератором

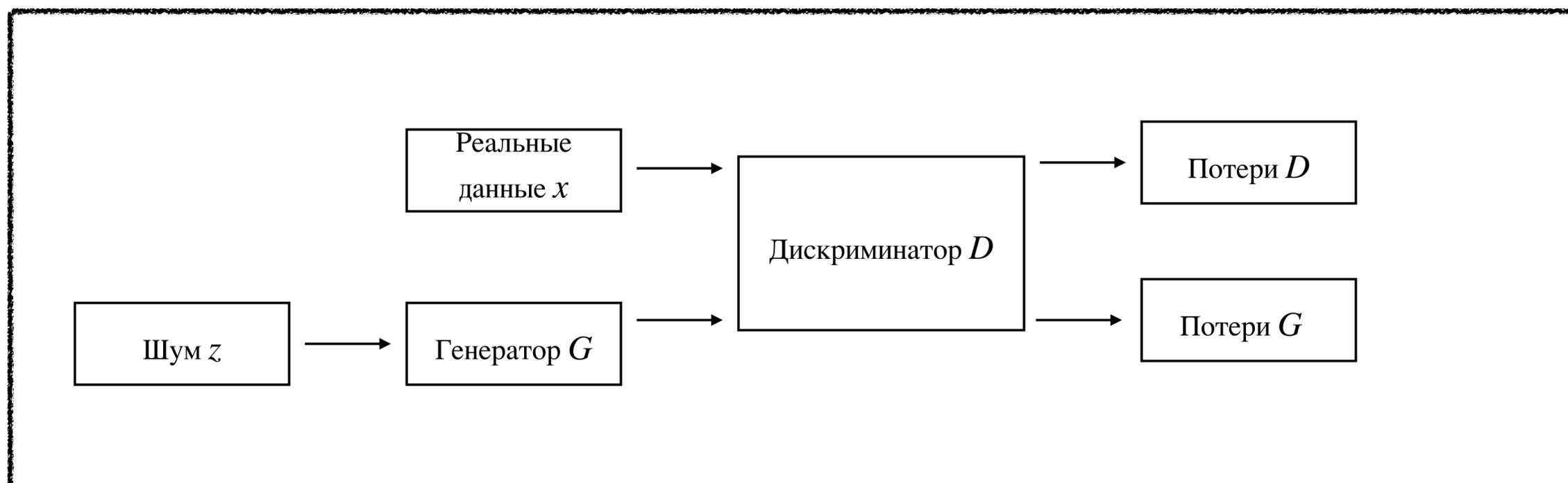


Схема работы GAN

АВТОКОДИРОВЩИК

$$\mathbf{X} \xrightarrow[\text{encode}]{\mathbf{f}} \mathbf{H} \xrightarrow[\text{decode}]{\mathbf{g}} \mathbf{X}$$

Схема автокодировщика

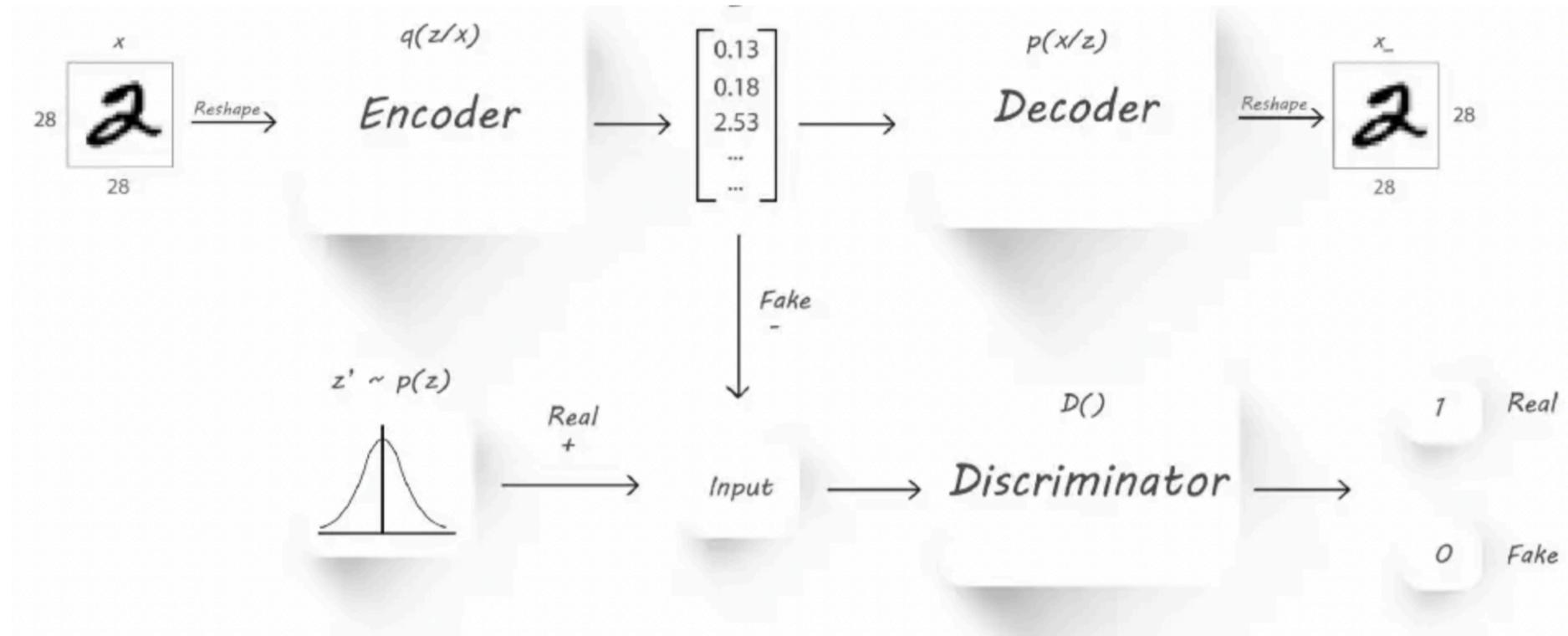
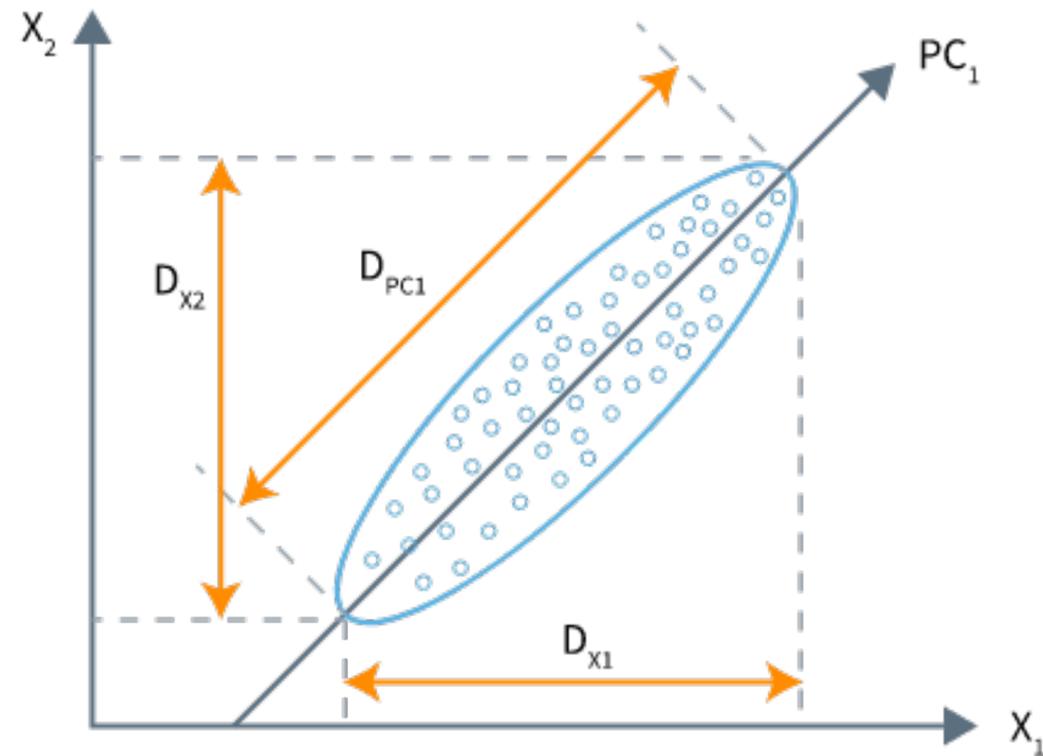


Схема ААЕ

Метод главных компонент (РСА)

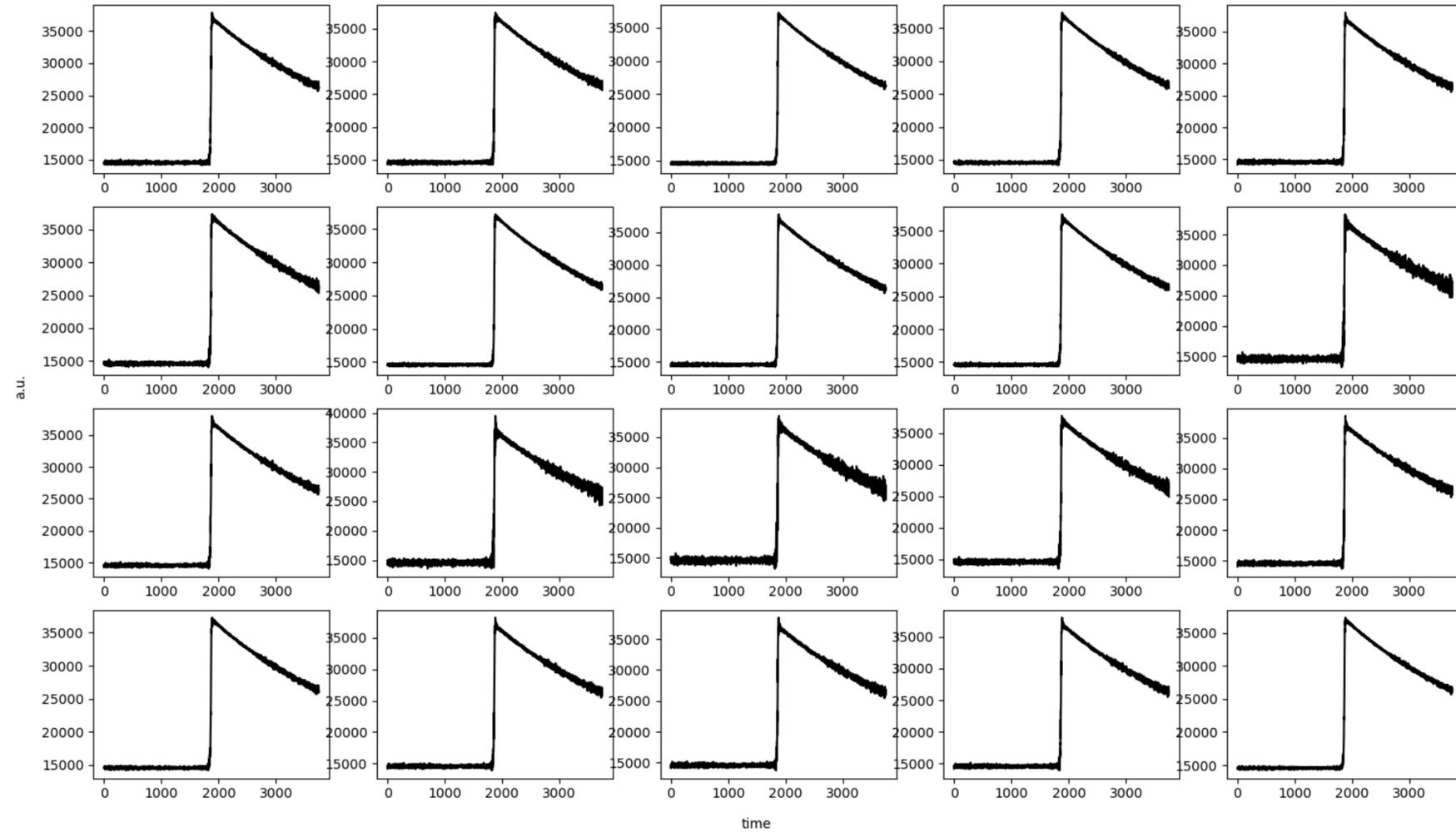


С помощью РСА размерность исходного пространства, состоящего из 3748 признаков, была снижена до 256

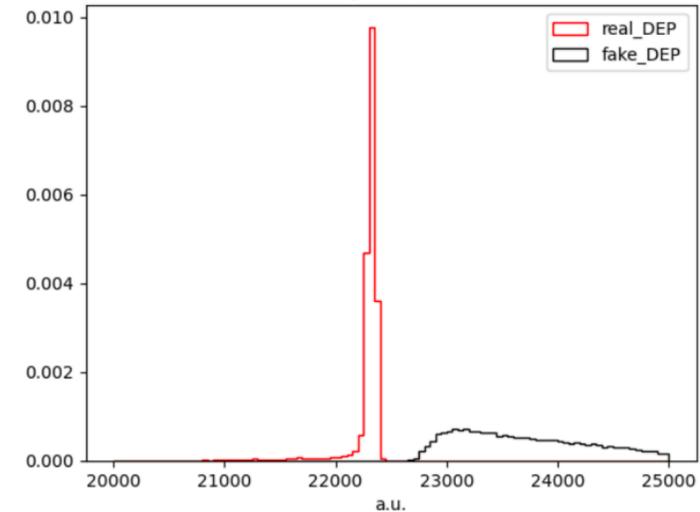
Снижение размерности исходного 2-мерного пространства до 1-мерного

WGAN-gp без использования автокодировщика

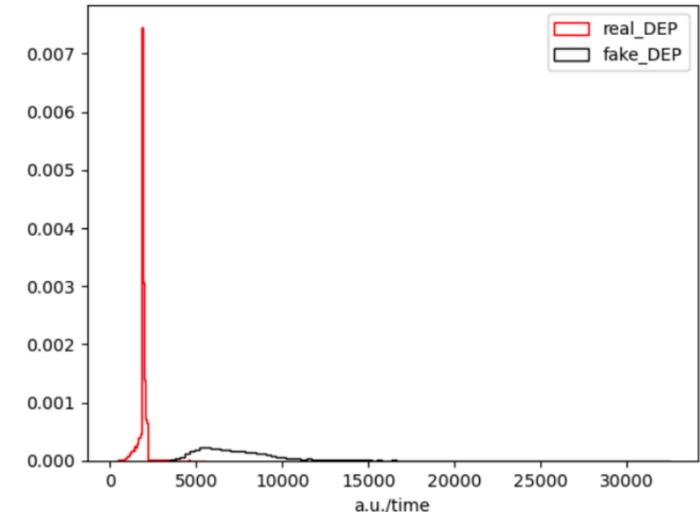
Fake DEP



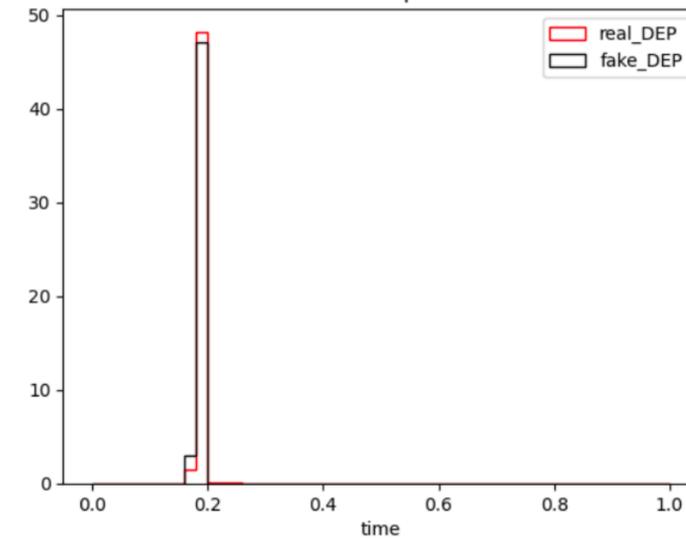
Charge amplitude



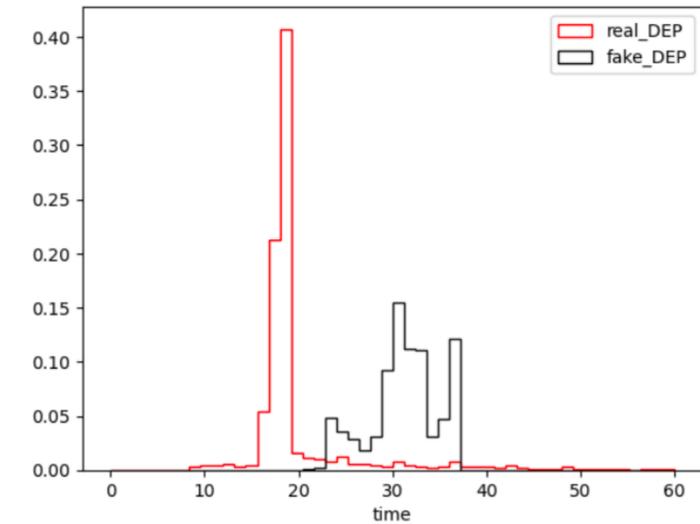
Current amplitude



Tail slope



Drift time

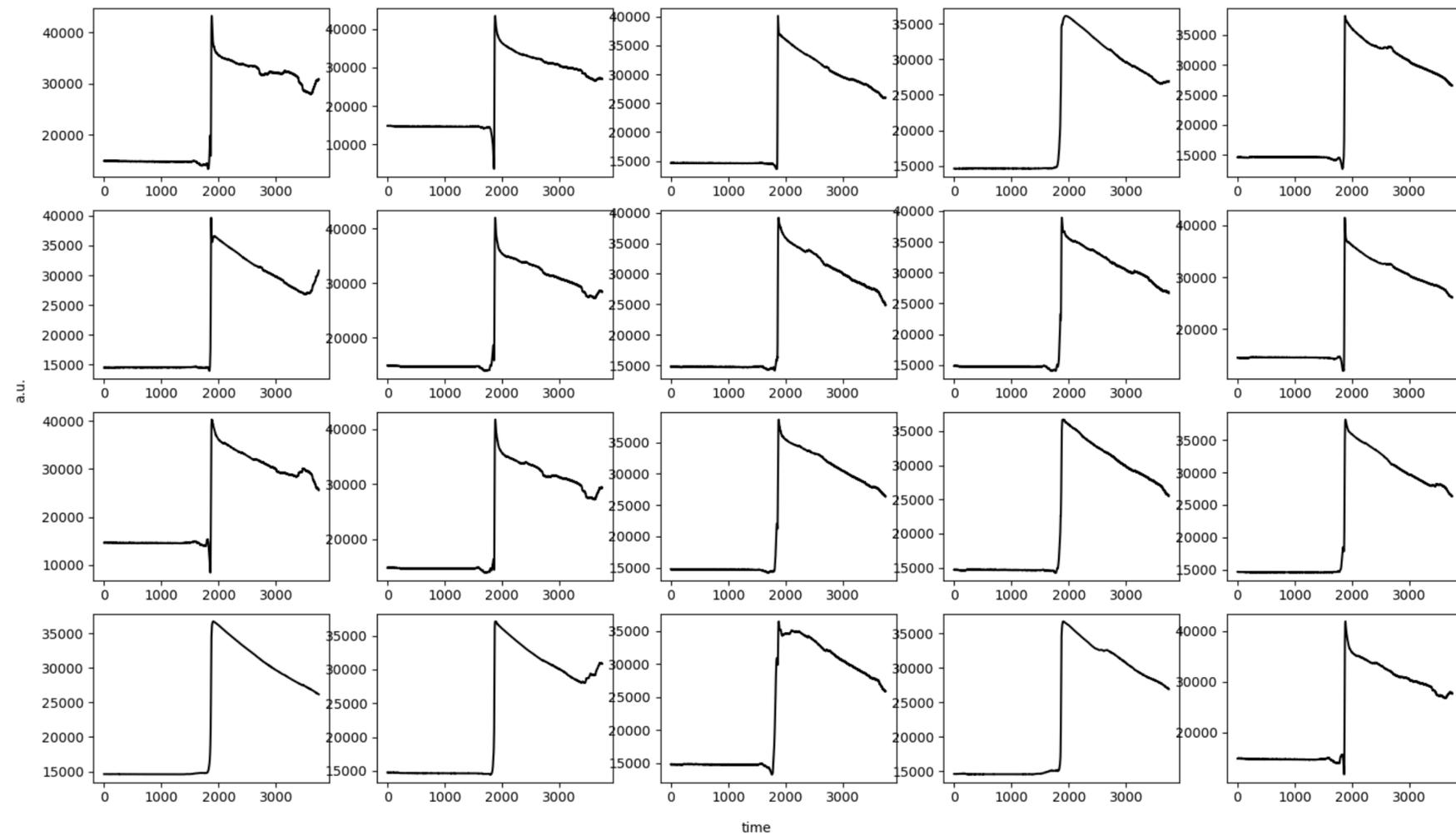


Примеры импульсов, полученные
в результате обучения Wasserstein-gp GAN

Распределения параметров
импульсов, полученных в результате обучения
Wasserstein-gp GAN

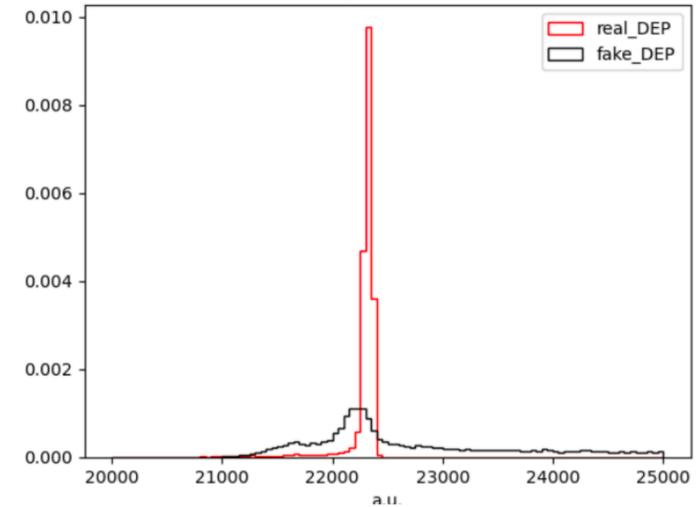
WGAN-gp с использованием автокодировщика

Fake DEP

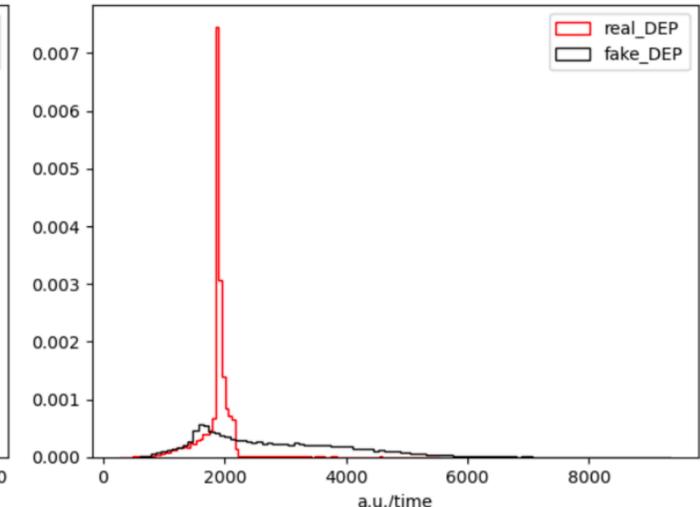


Примеры импульсов, полученные в результате обучения Wasserstein-gp GAN с автокодировщиком

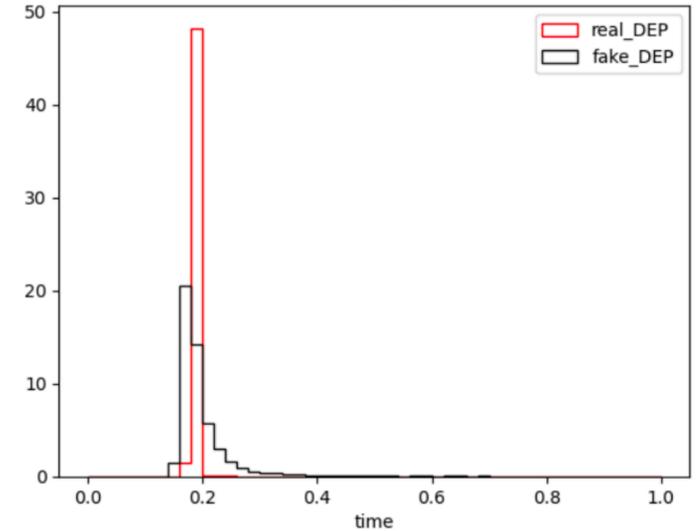
Charge amplitude



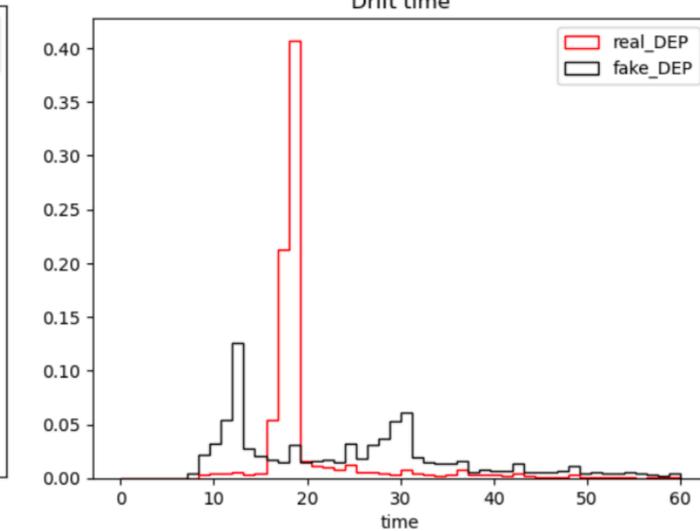
Current amplitude



Tail slope



Drift time



Распределения параметров импульсов, полученных в результате обучения Wasserstein-gp GAN с автокодировщиком

ICPC детектор

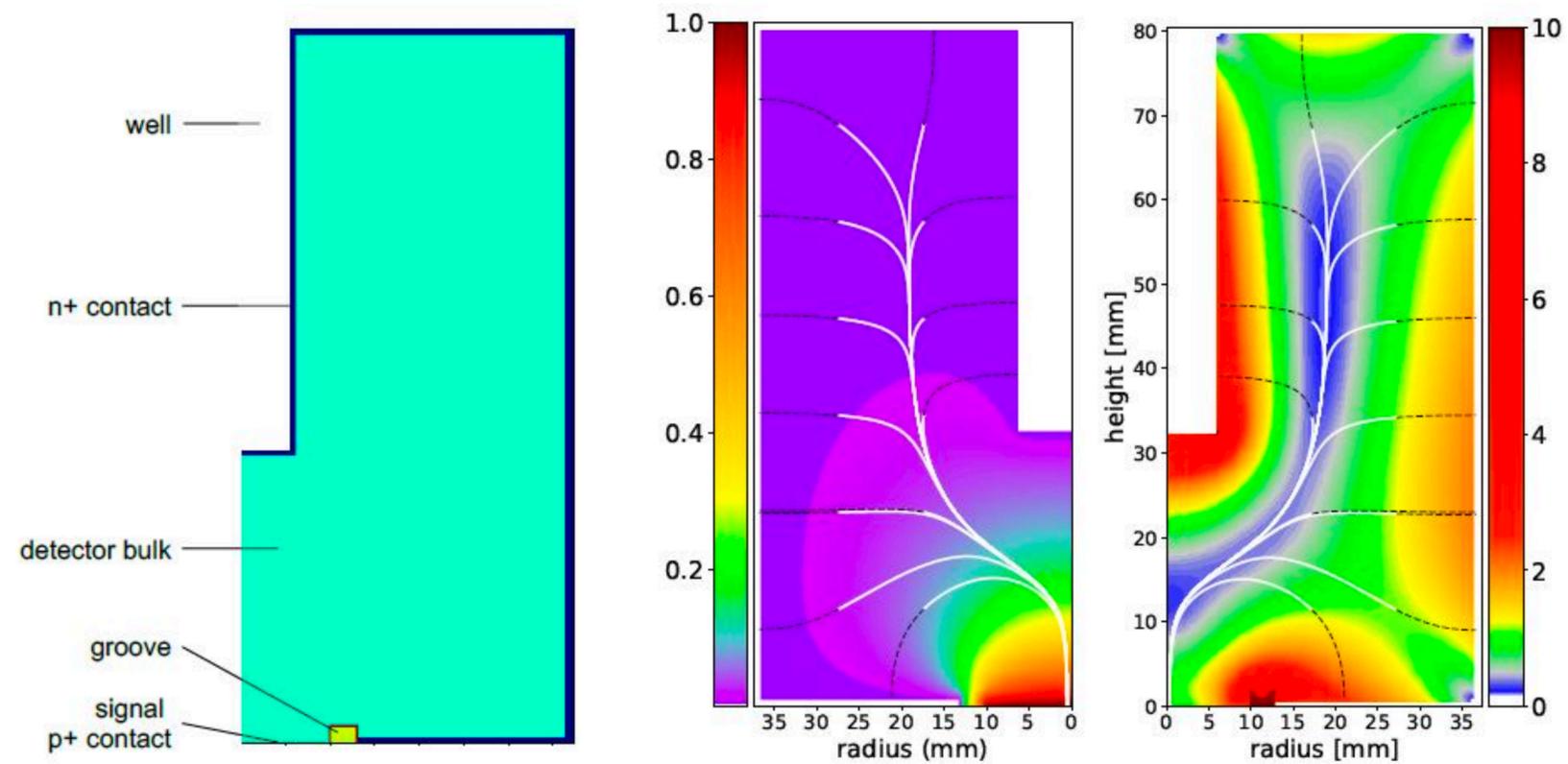


Схема ICPC детекторов. Черными пунктирными линиями показаны траектории движения электронов; белыми сплошными линиями показаны траектории движения дырок к считывающему электроду