

# АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА И АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО ВЫЧИТАНИЯ В СЛУХОВОМ ПРОТЕЗЕ НА БАЗЕ СМАРТФОНА

М.И. Вашкевич, И.С. Азаров, А.А. Петровский



*Учреждение образования Белорусский государственный  
университет информатики и радиоэлектроники*

*Кафедра электронных вычислительных средств*

# Цель работы

## Цель

Создание карманного слухового аппарата на базе смартфона. Разработка алгоритмов подавления фонового шума и акустической обратной связи (АОС).

## Основные положения

- 1) повышение добавочного усиления;
- 2) устойчивость к быстрым изменениям пути распространения обратной связи;
- 3) подавление остатка обратной связи и фонового шума;
- 4) вычислительная эффективность, соответствующая требованиями платформы

# 1. Принцип обработки – мотивация

## Известные подходы

Шумоподавление – спектральное вычитание

Подавление АОС – адаптивная фильтрация

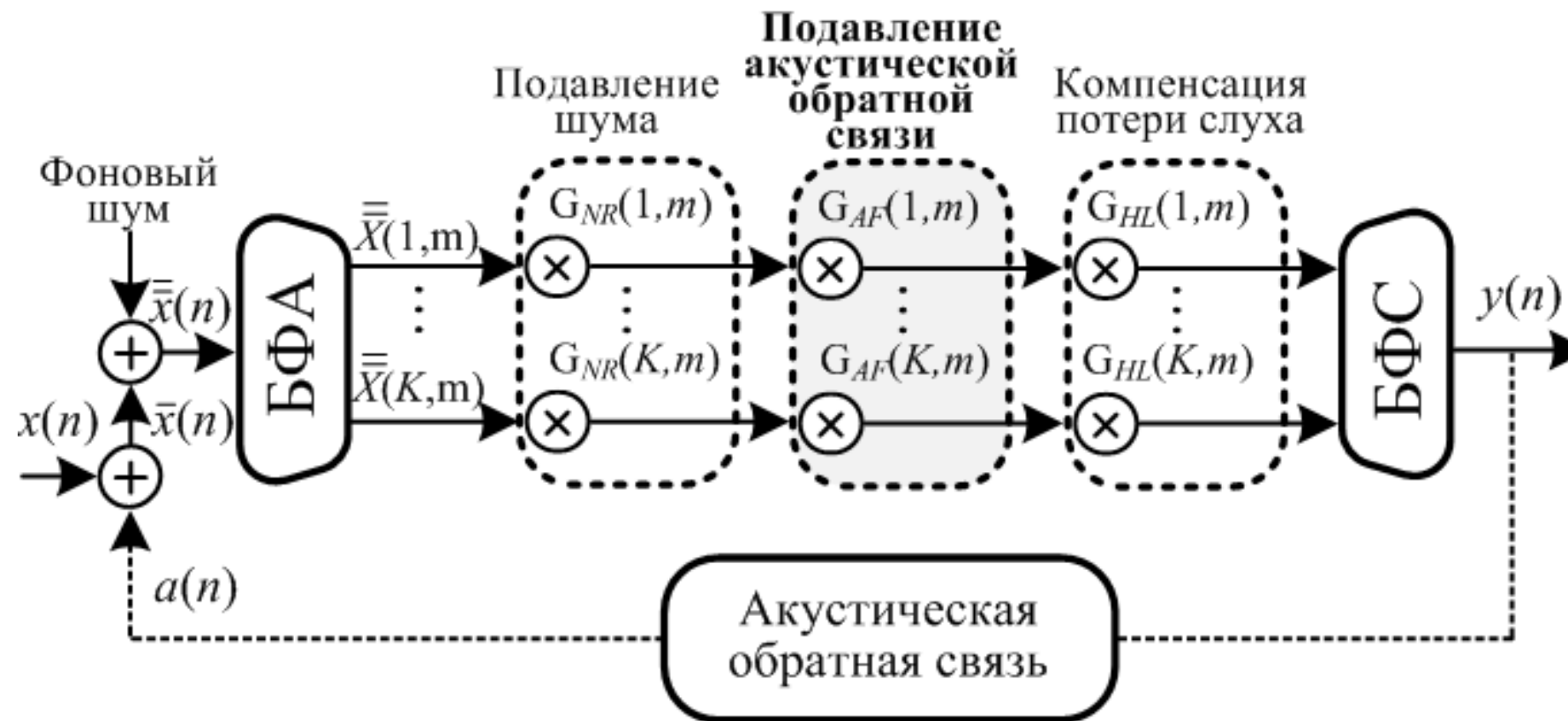
## Предлагаемый подход

Совмещенное подавление шума и АОС на основе спектрального вычитания.

## Мотивация

Моделирование пути распространения обратной связи, более адекватное поставленной цели.

## 2. Предлагаемая схема обработки



Предполагается, что  $\bar{X}(k,m)$  является суммой чистой речи  $X(k,m)$ , акустической обратной связи  $A(k,m)$  и фонового шума. Амплитуда чистого речевого сигнала может быть восстановлена из зашумленного как

$$|X(k,m)| = |\bar{X}(k,m)| G_{NR}(k,m) G_{AF}(k,m).$$

Вычисление коэффициентов основано на статистической оценке амплитудного спектра шума и акустической обратной связи.

### 3. Оценка коэффициентов подавления шума

Оценка амплитудного спектра шума  $|\hat{N}(k, m)|$  формируется путем усреднения амплитуд предыдущих отсчетов сигнала:

$$|\hat{N}(k, m)| = \tilde{\alpha}_d(k, m - 1)|\hat{N}(k, m - 1)| + (1 - \tilde{\alpha}_d(k, m - 1))|\overline{X}(k, m)|$$

где  $\tilde{\alpha}_d(k, m) = \alpha_d + (1 - \alpha_d)\hat{p}(k, m)$  изменяющийся во времени параметр сглаживания, который зависит от условной вероятности присутствия речевого сигнала  $\hat{p}(k, m)$ ,  $\alpha_d$  – параметр сглаживания, который определяет время усреднения, когда речь отсутствует ( $0 < \alpha_d < 1$ ).

$$G_{NR}(k, m) = \max \left\{ \sqrt{|\overline{X}(k, m)|^2 - \nu |\hat{N}(k, m)|^2} / |\overline{X}(k, m)|^2, 10^{-RL/20} \right\}$$

где  $\nu$  – коэффициент вычитания ( $1 < \nu < 6$ ),  $RL$  – настраиваемый параметр, определяющий желаемый уровень остаточного шума в дБ.

## 4. Подавление обратной акустической связи (1)

Акустическая связь проявляется в виде квазипериодического сигнала, который является результатом рекурсивного суммирования выхода с временным смещением  $t_0$ . Спектральные компоненты АОС равноудалены друг от друга с равным шагом  $f_0 = 1/t_0$  и следовательно оказывают влияние только некоторое подмножество отсчетов полезного сигнала  $X(k, m)$ :

$$\bar{X}(k, m) = X(k, m) + A(k, m) \text{ если } \min \left| k - \frac{f_0 v}{f_s / K} \right| \leq d, \text{ иначе } \bar{X}(k, m) = X(k, m)$$

где  $v$  – номер гармоники сигнала обратной связи,  $f_s$  – частота дискретизации и  $d$  – смещение частоты, которое зависит от оконной функции, использованной спектрального анализа в банке фильтров анализа.

## 5. Подавление обратной акустической связи (2)

Для чистой речи математическое ожидание амплитудного спектра для близких частотных компонент примерно равно  $E[|X(k, m)|] \approx E[|X(k \pm d, m)|]$  для любой достаточно малой величины  $d$ . Предполагая  $E[|\bar{X}(k, m)|] \geq E[|X(k, m)|]$  получим

$$E[|X(k, m)|] \approx \min_{-d < i < d} [E[|\bar{X}(k + i, m)|]],$$

$$E[|A(k, m)|] \approx E[|\bar{X}(k, m)|] - \min_{-d < i < d} [E[|\bar{X}(k + i, m)|]]$$

Таким образом, ожидаемый коэффициент увеличения амплитуды обратной связью  $E[|\bar{X}(k, m)|] / E[|X(k, m)|]$  можно оценить из кратковременного амплитудного спектра в некоторой окрестности отсчета  $\bar{X}(k, m)$ .

## 6. Подавление обратной акустической связи (3)

Предлагается использовать следующую меру оценки коэффициента увеличения амплитуды  $\chi(k, m)$  использующую  $l$  предыдущих отсчетов по времени и  $2d$  соседних отсчетов по частоте:

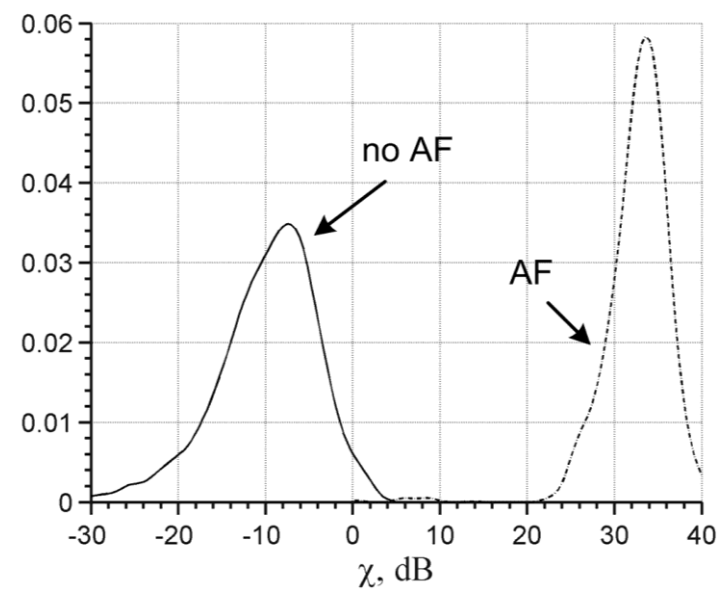
$$\chi(k, m) = \frac{\min_{-l+1 \leq j \leq 0} |\bar{X}(k, m + j)|}{\min_{-d \leq i \leq d} \left[ \max_{-l+1 \leq j \leq 0} |\bar{X}(k + i, m + j)| \right]}.$$

Чтобы избежать завышенной оценки уровня обратной связи используется локальный минимум среди предыдущих отсчетов по времени для оценки  $\bar{X}(k, m)$  и локальный максимум для оценки  $X(k, m)$ .

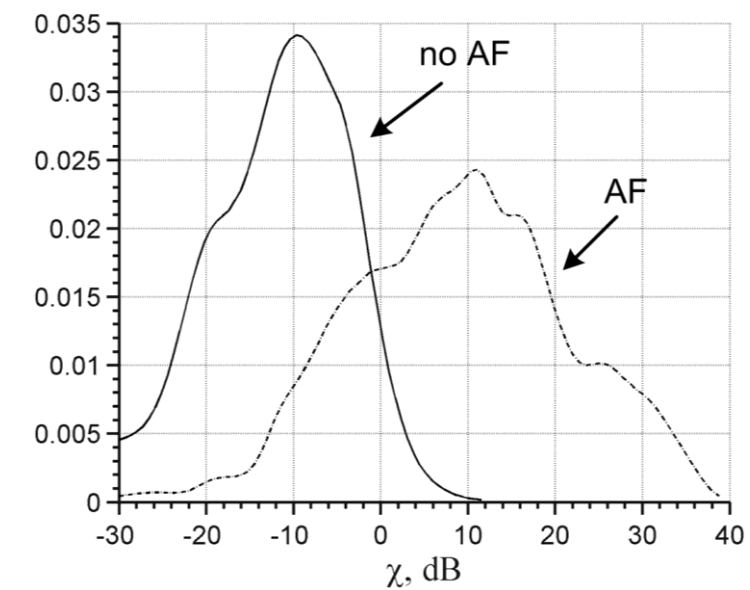


# 7. Подавление обратной акустической связи (4)

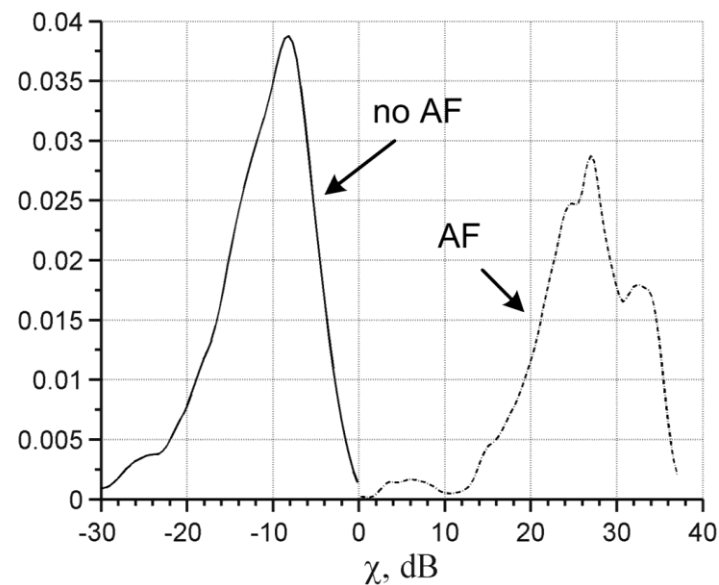
Ниже показана функция плотности вероятности  $p(\chi)$ , полученная экспериментально для различных соотношений сигнал/обратная связь (ССО). АОС присутствует с вероятностью 95% если  $\chi > 1$ .



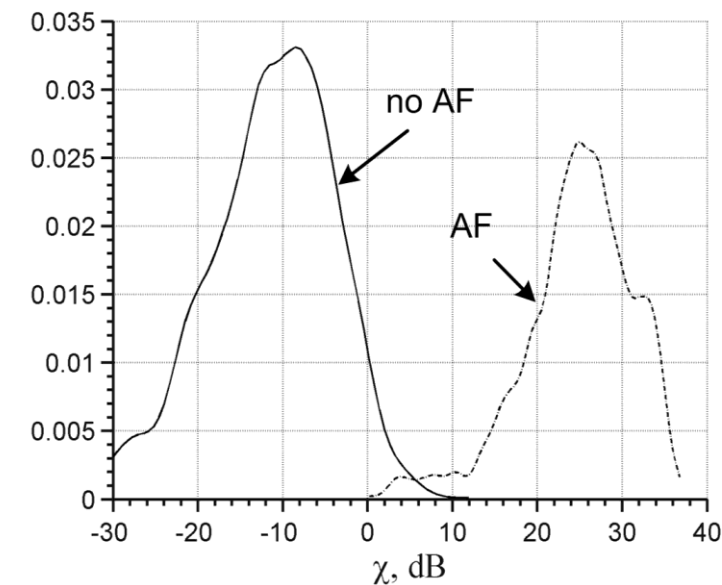
линейный режим в тишине (ССО – 7дБ)



линейный режим на фоне громкой речи (ССО – 35дБ)



нелинейный режим в тишине (ССО – 38дБ)



нелинейный режим на фоне громкой речи (ССО – 7дБ)

## 8. Подавление обратной акустической связи (5)

Подавление обратной связи выполняется плавно с использованием сглаживающего параметра  $\alpha_{AF}$  ( $0 < \alpha_{AF} < 1$ ), который определяет время усреднения и изменяемый параметр  $\tilde{\alpha}_{AF} = \alpha_{AF} + (1 - \alpha_{AF})(\chi(k, m) / \chi_{th})^\beta$ , где  $\beta$  выравнивающий параметр, который задает баланс между реакцией на тихую и громкую обратную связь и  $\chi_{th}$  – пороговое значение для включения режима сильного подавления. Коэффициент подавления  $G_{AF}(k, m)$  вычисляется рекурсивно следующим образом:

$$G_{AF}(k, m) = \begin{cases} \tilde{\alpha}_{AF} G_{AF}(k, m - 1) + \frac{(1 - \tilde{\alpha}_{AF})}{\max(\chi(k, m), 1)}, & \chi(k, m) < \chi_{th} \\ 1 / \chi(k, m), & \chi(k, m) \geq \chi_{th} \end{cases}$$

Когда  $\chi(k, m)$  превышает  $\chi_{th}$ , алгоритмом определяется наличие сильной обратной связи. В этом случае коэффициент подавления обновляется мгновенно и затем медленно отпускается.

## 9. Результаты экспериментов

(1)

Определялось *предельное усиление системы*, которое не приводит появлению обратной связи. Затем использовался добавочный коэффициент усиления  $\Delta G$  с применением предложенного алгоритма подавления обратной связи и алгоритма адаптивной фильтрации (LMS).

Таблица 1 – Сегментного соотношения сигнал/шум (СССШ).

$\Delta G$ , дБ	Без подавления, дБ	МНК, дБ	Предложенный алг. подавления АОС, дБ
0	8.12	17.66	12.27
4	НС	5.57	11.94
8	НС	5.35	11.10
12	НС	3.18	10.22
16	НС	1.72	9.25
20	НС	НС	7.59
24	НС	НС	4.56

Предложенный алгоритм подавления обратной связи обеспечивает значительно более высокие значения СССР по сравнению с алгоритмом на основе МНК для всех случаев, где присутствует обратная.

# 10. Результаты экспериментов

(2)

Выполнялась оценка эффективности алгоритма в шумовой обстановке. Речевой сигнал, с добавленным розовым шумом использован в качестве входного сигнала для модели с  $\Delta G$  12 дБ.

Таблица 2 – СССШ в шумовой обстановке,  $\Delta G$  12 дБ

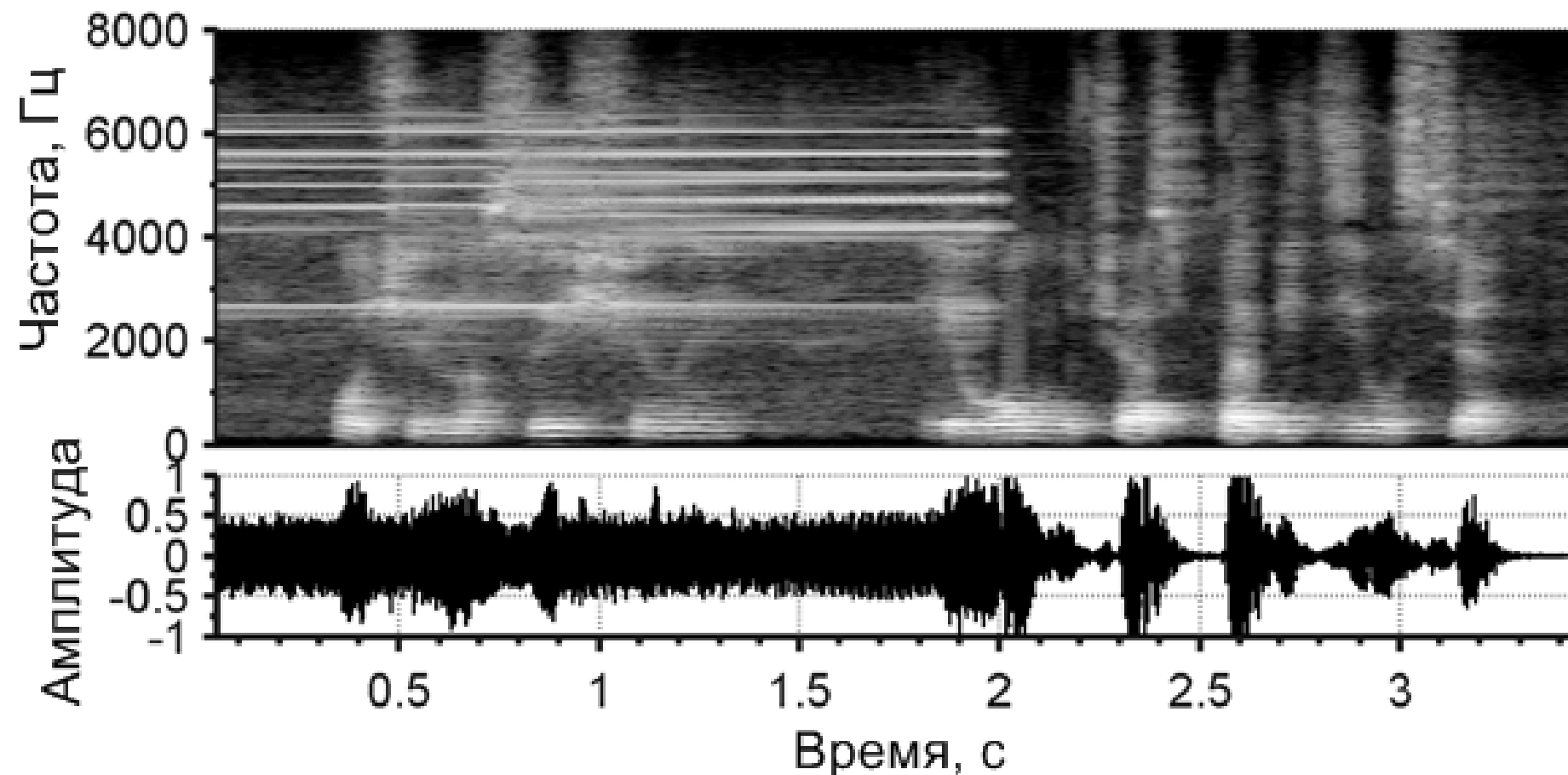
СССШ вход, дБ	Предложенный алгоритм. Подавление АОС, дБ	Предложенный алгоритм. Подавление АОС и шума, дБ	МНК, дБ	МНК и подавление шума, дБ
15	10.54	11.29	5.83	7.78
10	7.07	9.34	4.53	5.62
5	3.51	6.57	2.31	5.00
0	-0.73	3.12	-1.17	2.42
-5	-5.41	-1.24	-5.01	-0.93

Реализованный алгоритм шумоподавления заметно улучшает показатели СССШ, подавляя одновременно остаток сигнала АОС и фоновый шум. Подавление остаточного сигнала АОС значительно повышает субъективное качество обработанной речи, удаляя слышимые тональные компоненты.

# 11. Результаты экспериментов

(3)

Для оценки работы алгоритма в реальных условиях создан макет на основе ПК со стандартными наушниками и микрофоном, работающий в реальном масштабе времени. Предложенный алгоритм подавления АОС показал на макете результат близкий к модельному, сохраняя устойчивость системы.



*Выходной сигнал макета, подавление АОС включено после 2 с*

## **12. Благодарность**

**Спасибо за внимание !**