

# АЛГОРИТМЫ АКТИВНОГО ШУМОПОДАВЛЕНИЯ. NX-LMS, TF-FXLMS И ANF-IMLMS АЛГОРИТМЫ

Янгулов И.П.<sup>1</sup>, Елистратов К.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Янгулов Игорь Петрович - студент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

<sup>2</sup>Елистратов Кирилл Владиславович - студент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»  
г. Пенза, Российская Федерация

**Аннотация:** в данной статье приведен сравнительный обзор трех адаптивных алгоритмов шумоподавления. Рассматривается принцип работы алгоритмов и их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** алгоритмы шумоподавления, активный контроль шума, контроль шума трансмиссии, подавление шумов в автомобиле.

## ACTIVE NOISE REDUCTION ALGORITHMS. NX-LMS, TF-FXLMS AND ANF-IMLMS ALGORITHMS

Yangulov I.P.<sup>1</sup>, Elistratov K.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yangulov Igor Petrovich - student, «Penza state University»

<sup>2</sup>Elistratov Kirill Vladislavovich - student, «Penza state University»  
Penza, Russian Federation

**Abstract:** this article provides a comparative overview of three adaptive noise reduction algorithms. The principle of operation of algorithms and their advantages and disadvantages are considered.

**Keywords:** noise reduction algorithms, active noise control, transmission noise control, car noise suppression.

УДК 624

### NX-LMS алгоритм

Алгоритм *NX-LMS* является еще одной альтернативой, используемой для подавления шумов. Он был предложен Оливейрой в 2010 году на основе модифицированного алгоритма *FXLMS* (*MFXLMS*). Концепция алгоритма *MFXLMS* заключается в изменении структуры стандарта алгоритма *FXLMS* с



использованием модифицированной ошибки. Таким образом, метод градиентного спуска ведет себя как стандартные схемы *LMS* (наименьших средних квадратов). Алгоритм *MFXLMS*, как и алгоритм *FXLMS* хорошо работают, с точки зрения ошибки моделирования вторичного пути [1].

Например, фазовый угол расчетного вторичного пути  $\hat{S}(z)$  должно быть в пределах  $\pm 90^\circ$  от фактического. Таким образом, надежность алгоритма *FXLMS* сохраняется в алгоритме *MFXLMS*. Основываясь на алгоритме *MFXLMS*, Оливейра добавил еще один фильтр нормализации в виде запланированного усиления  $N$ , чтобы устранить эффект изменения амплитуды вторичного пути. Эта модификация формирует алгоритм *NX-LMS*. Базовая конфигурация алгоритма *NX-LMS* для подавления шумов трансмиссии транспортного средства показана на рисунке 1.

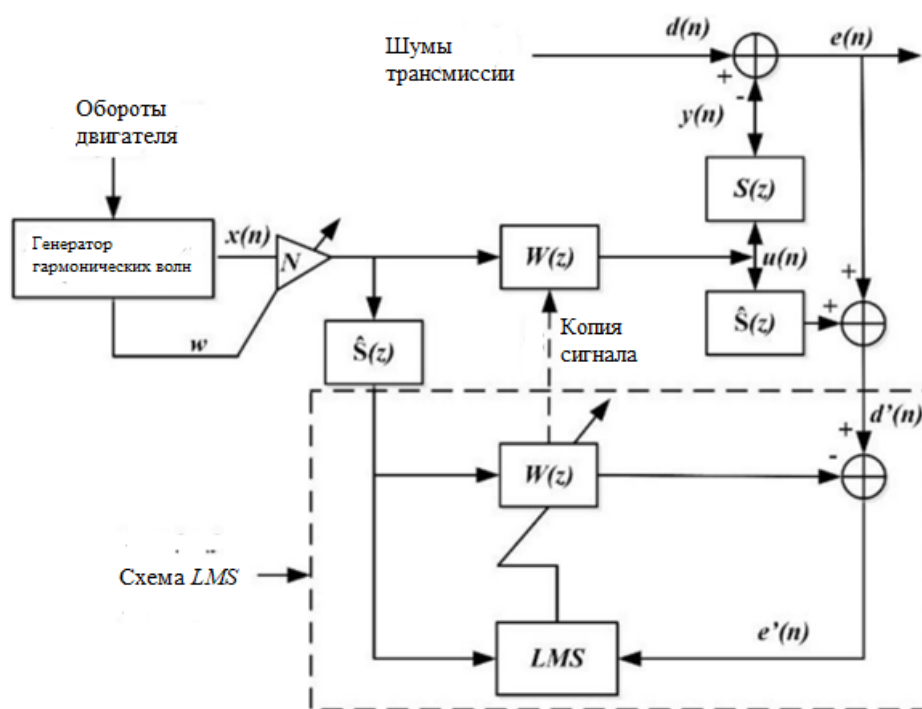


Рисунок 1. Структурная схема системы ANC трансмиссии транспортного средства с использованием алгоритм *NX-LMS*

При применении алгоритма *NX-LMS* требуются дополнительные вычислительные мощности, что является одним из недостатков этого алгоритма. По сравнению с обычным алгоритмом *FXLMS*, алгоритм *NX-LMS* требует дополнительных шагов для генерации измененной ошибки. Эти дополнительные



шаги включают в себя процесс свертки и два дополнительных дополнения. Процесс свертки выходного сигнала контроллера  $u(n)$  и расчетного вторичного пути  $\hat{S}(z)$  используется для оценки фактического вторичного источника, который принимается в месте расположения микрофона системы *ANC* [2, 3].

### ***TF-FXLMS* алгоритм**

Возможности системы *ANC* часто ограничены вычислительной мощностью цифрового сигнального процессора, особенно для сложных систем с несколькими входами и несколькими выходами. Для повышения производительности системы были разработаны некоторые вычислительно эффективные алгоритмы. Например, была разработана реализация алгоритма *FXLMS* в частотной области. Одним из критических недостатков подхода в частотной области является блочная задержка между входным опорным сигналом и вторичной волной. Поэтому этот подход не может быть использован для контроля за широкополосный случайный шум, такой как дорожный шум [4].

Для устранения этого недостатка в 1995 году Морган и Тхи предложили метод адаптивной фильтрации поддиапазонов без задержек. В реализации без задержек оценка градиента, используемая для обновления коэффициентов фильтра, вычисляется в частотной области. Однако фактический процесс фильтрации для вычисления вторичной волны гашения реализуется во временной области.

Аналогичная идея была описана Дуаном для разработки алгоритма *FXLMS* в частотно-временной области (*TF-FXLMS*). Этот алгоритм был успешно реализован для управления шумом от силового агрегата. На рисунке 2 показана структурная схема алгоритма *TF-FXLMS* с реализацией с сохранением перекрытия [5].



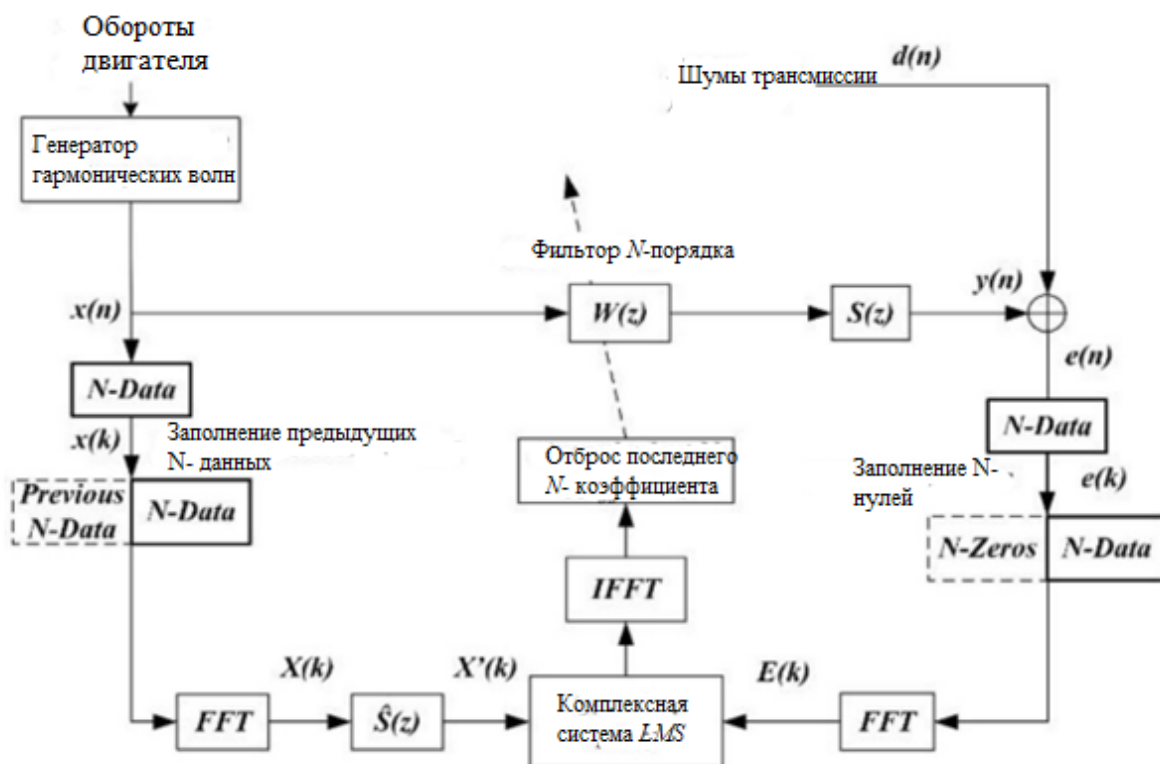


Рисунок 2. Структурная схема системы ANC трансмиссии транспортного средства с использованием алгоритма FXLMS

Реализация с сохранением перекрытия - это метод преобразования круговой свертки в линейную свертку. В этом примере используется 50% - ное перекрытие. Поэтому для одного обновления в буфере накапливается  $N$  выборок нового опорного сигнала и сигнала ошибки для формирования  $2N$  векторов данных.

$$x(k) = [x(kN - N + 1)x(kN - N + 2) \dots x(kN)]^T \quad (1)$$

$$e(k) = [e(kN - N + 1)e(kN - N + 2) \dots e(kN)]^T \quad (2)$$

Для входного опорного сигнала реализация с сохранением перекрытия сохраняет предыдущий блок из  $N$  выборок и дополняет их новыми данными, начиная с вектора  $2N$ . Этот опорный сигнал выражается как  $[x(k - 1)x(k)]^T$ . Для сигнала ошибки он заполняет нулевые данные  $N$ -точки, чтобы сформировать вектор  $2N$ , который может быть выражен как  $[0 \ e(k)]^T$ . Затем опорный сигнал и сигнал ошибки преобразуются в частотную область с помощью  $2N$  точечных БПФ[6,7].

$$X(k) = [X_0(k)X_1(k) \dots X_{2N-1}(k)]^T = FFT([x(k - 1)x(k)]^T) \quad (3)$$



$$E(k) = [E_0(k)E_1(k) \dots E_{2N-1}(k)]^T = FFT([0e(k)]^T) \quad (4)$$

Еще одним преимуществом алгоритма *TF-FXLMS* и других алгоритмов частотной области является возможность разделения и изоляции спектральных компонентов опорного сигнала в отдельные частотные ячейки.

Скорость сходимости можно улучшить, установив индивидуальный размер шага для каждого отсчета обратно пропорциональным мощности сигнала в этом отсчете.

$$W(k+1) = W(k) + \mu \overline{S(k)X(k)}E(n) \quad (5)$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{|X_m S_m|^2} \quad (6)$$

где  $(\bar{\cdot})$  обозначает операцию комплексного сопряжения,  $S(k)$  преобразуется из передаточной функции вторичного пути  $S(n)$  с помощью быстрого преобразования Фурье (IFFT), размер шага для  $m$ -го частотного отсчета,  $|\cdot|$  представляет оператор нормы, а  $X_m S_m$  представляет отфильтрованный опорный сигнал в соответствующем  $m$ -м частотном отсчете [8].

### ***ANF-IMLMS* алгоритм**

Алгоритм наименьших средних квадратов обратной модели (*LMS*) был впервые разработан Ли эт ла для управления гармоническим шумом.

Как правило, существует два подхода, которые используются для компенсации эффекта вторичного пути. Первый состоит в том, чтобы поместить идентичный фильтр в путь опорного сигнала для обновления алгоритма *LMS*, который реализует алгоритм *FXLMS*.

Другой подход заключается в размещении обратного фильтра  $\frac{1}{S(z)}$  последовательно с  $S(z)$ , чтобы устранить его эффект. Для широкополосного шума обратная модель не обязательно существует.

Цель алгоритма *ANF-IMLMS* состоит в том, чтобы включить функции адаптивного фильтра надреза в алгоритм *IMLMS*, чтобы еще больше снизить вычислительные затраты и повысить общую производительность системы.



На рисунке 3 показана структурная схема алгоритма *ANF-IMLMS* для шума трансмиссии. Для реализации обратной модели используются две константы  $A$  и  $B$  [9, 10, 11].

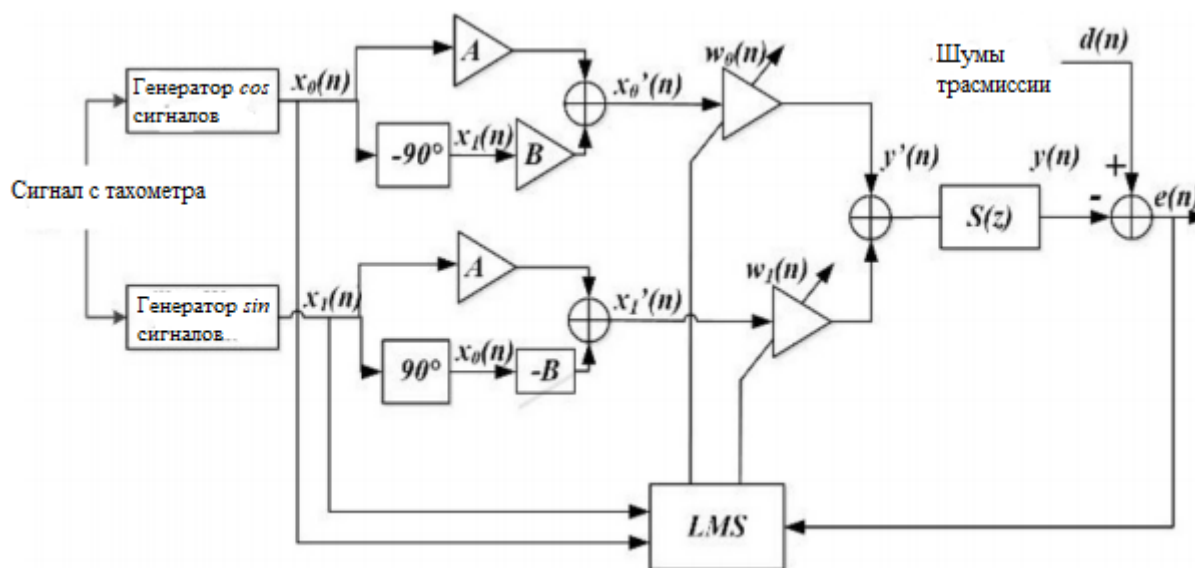


Рисунок 3. Структурная схема системы *ANC* трансмиссии транспортного средства с использованием алгоритма *ANF-IMLMS*

Константы выражаются следующим образом:

$$A = \frac{\cos \theta}{g} \quad (7)$$

$$B = \frac{\sin \theta}{g} \quad (8)$$

где  $g$  и  $\Theta$  представляют усиление и фазу вторичного пути  $S(z)$  на целевой частоте. Как показано на рисунке 3,  $x'_0(n)$  и  $x'_1(n)$  являются опорными сигналами, отфильтрованными обратной моделью вторичного тракта.  $y(n)$  - вторичная волна отмены. Они могут быть выражены следующим образом:

$$x'_0(n) = Ax_0(n) + Bx_1(n) = \frac{\cos(\omega n - \theta)}{g} \quad (9)$$

$$x'_1(n) = -Bx_0(n) + Ax_1(n) = \frac{\sin(\omega n - \theta)}{g} \quad (10)$$

$$y(n) = [w_0(n)x'_0(n) + w_1(n)x'_1(n)] * S(z) = w_0(n)x'_0(n) + w_1(n)x'_1(n) \quad (11)$$

где  $*$  - обозначение линейной свертки. Следует отметить, что  $y(n)$  содержит как синфазную, так и квадратурную компоненты на целевой частоте, и эффект



вторичного пути полностью устраняется. Уравнения обновления остаточного шума и веса могут быть выражены следующим образом:

$$e(n) = d(n) - w_0(n)x'_0(n) - w_1(n)x'_1(n) \quad (12)$$

$$w_0(n)x'_0(n) = w_0(n) + 2\mu e(n)x_0(n) \quad (13)$$

$$w_1(n)x'_1(n) = w_1(n) + 2\mu e(n)x_1(n) \quad (14)$$

#### *Список литературы*

1. Kuo, S.M. and Morgan, D., Active noise control systems: algorithms and DSP implementations. 1995: John Wiley & Sons, Inc. ISBN:0471134244.
2. Elliott, S.J. and Nelson, P.A., "Active noise control". Signal Processing Magazine, IEEE, 1993. 10(4): p. 12-35.
3. De Oliveira, L.P.R., Stallaert, B., Janssens, K., et al., "NEXLMS: A novel adaptive control scheme for harmonic sound quality control". Mechanical Systems and Signal Processing, 2010. 24(6): p. 1727-1738.
4. Thomas, J.K., Lovstedt, S.P., Blotter, J.D., et al., "Eigenvalue equalization filtered-x algorithm for the multichannel active noise control of stationary and nonstationary signals". The Journal of the Acoustical Society of America, 2008. 123(6): p. 4238-4249.
5. Duan, J., Li, M., Lim, T.C., et al., "Comparative study of frequency domain filtered-x LMS algorithms applied to vehicle powertrain noise control". International Journal of Vehicle Noise and Vibration, 2009. 5(1): p. 36-52.
6. Li, M., Duan, J., and Lim, T.C. "Enhanced inverse model LMS algorithm for active control of harmonic response clusters". in INTERNOISE Congress and Conference Proceedings. 2012. Institute of Noise Control Engineering.
7. Li, M., Lim, T.C., and Duan, J. "Active control of sinusoidal disturbances using inverse model LMS algorithm". in NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. 2013. Institute of Noise Control Engineering.
8. Sun, G., Feng, T., Xu, J., Li, M. et al., "Modified FxLMS Algorithm with Equalized Convergence Speed for Active Control of Powertrain Noise," SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 8(3):868-872, 2015.
9. Xu, J., Sun, G., Feng, T., Li, M. et al., "Fast Active Sound Tuning System for Vehicle Powertrain Response," SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 8(3):882-885, 2015.
10. Shynk, J.J., "Frequency-domain and multirate adaptive filtering". IEEE Signal Processing Magazine, 1992. 9(1): p. 14-37.
11. Thi, J. and Morgan, D.R. "Delayless subband active noise control". in Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1993. ICASSP-93., 1993 IEEE International Conference on. 1993. IEEE.

