

УДОСКОНАЛЕНА СИСТЕМА АКТИВНОГО ПРИДУШЕННЯ ЗВУКУ

Сергій Лізунов, Євгеній Філобок

Зазвичай, для усунення просочування інформації по акустичному каналу, застосовують або звукоізоляцію, або генератори корельованих акустичних перешкод. У першому випадку (пасивний метод) потрібні значні витрати часу на проведення робіт по звукоізоляції. У другому випадку (активний метод) наявність генераторів шуму створює дискомфорт при проведенні переговорів. Саме випромінювання є демаскуючою ознакою, що полегшує зловмисникам визначити час і місце переговорів. Недоліки обох перелічених вище методів можуть бути зменшені при застосуванні систем активного пригнічення акустичних шумів. Системи такого активного шумозаглушення ґрунтуються на процесі інтерференції хвиль. Попри те, що сам по собі метод дозволяє ефективно пригнічувати навколишні звуки, реальні пристрої не завжди справляються з цим завданням, особливо з акустичними коливаннями з частотою більше тисячі Герц. Річ у тому, що на ресстрацію звуку і обчислення протилежної хвилі у мікроконтролера йде деякий час. Через це звук, що випромінюється ним, вже не повністю протилежний до звуку, що входить, а відстає від нього по фазі. Цей недолік можна зменшити, якщо сигнал, який потрібно подати, подавати на вхід такого пристрою по електричному або електромагнітному каналу. Завдяки тому, що електричний сигнал поширюється швидше за звукові коливання, прилад починає обробляти сигнал ще до його приходу у вигляді акустичної хвилі. Шумозаглушення таких систем працює для звуків з частотою до 4 кГц, що є досить прийнятним для спектру мовної інформації. Таким чином, на межах контрольованої зони можна знизити рівень акустичних хвиль від джерел інформації з обмеженим доступом до безпечної величини. Такі системи можна також з успіхом використовувати в режимних приміщеннях, де циркуляція акустичної (мовної) інформації заборонена взагалі. Подальше удосконалення такої моделі можливе, якщо врахувати такі залежності (характеристики) приміщення між точкою розташування джерела звуку, що придушується (доповідач), і точками каналів витоку акустичної інформації на границях контрольованої зони: часові (час поширення акустичної хвилі), частотні (АЧХ і ФЧХ), ревербераційні (відбиття звукових хвиль від перешкод). Ці характеристики можуть бути зняті завчасно і внесені в електронні блоки управління, які виробляють пригнічуючі сигнали. У цьому випадку кожен блок заздалегідь готовий до перетворення отриманого від мікрофона сигналу з метою вироблення максимально ефективного сигналу придушення. При цьому, в принципі, можна взагалі відмовитися від використання додаткових мікрофонів біля кожного каналу витоку мовної інформації. Подальше вдосконалення системи активного придушення звуку направлено на підвищення її ефективності, прихованості факту та місця проведення перемовин, зменшення енергоспоживання системи.

Ключові слова: акустика, акустична захищеність, активне шумопридушення, захист інформації, поширення звуку у середовищі, система активного шумопридушення, активне звукопридушення, система активного звукопридушення.

ВСТУП

Метою роботи є подальше удосконалення системи активного придушення звуку [1] з метою:

- підвищення ефективності придушення звуку,
- прихованості факту та місця проведення перемовин,
- спрощення апаратної частини,
- зменшення енергоспоживання системи.

Актуальність роботи полягає в тому, що захист акустичної інформації з обмеженим доступом потребує постійного вдосконалення з урахуванням сучасних засобів та методів її несанкціонованого зняття зловмисниками. Раніше в

[1] описувалася система активного придушення звуку (САПЗ), яка має підвищену ефективність за рахунок врахування різниці швидкостей поширення акустичного та електричного сигналів.

Ця система має підвищену швидкодію через поліпшену синхронізацію сигналу придушення з джерелом звуку. Модель такої системи представлена на рис. 1. Як видно, система містить мікрофон біля джерела звуку (наприклад, доповідач) і мікрофони по кожному каналу витоку інформації на границі контрольованої зони.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ

Подальше вдосконалення системи активного придушення звуку можливо з урахуванням акустичних характеристик приміщення.

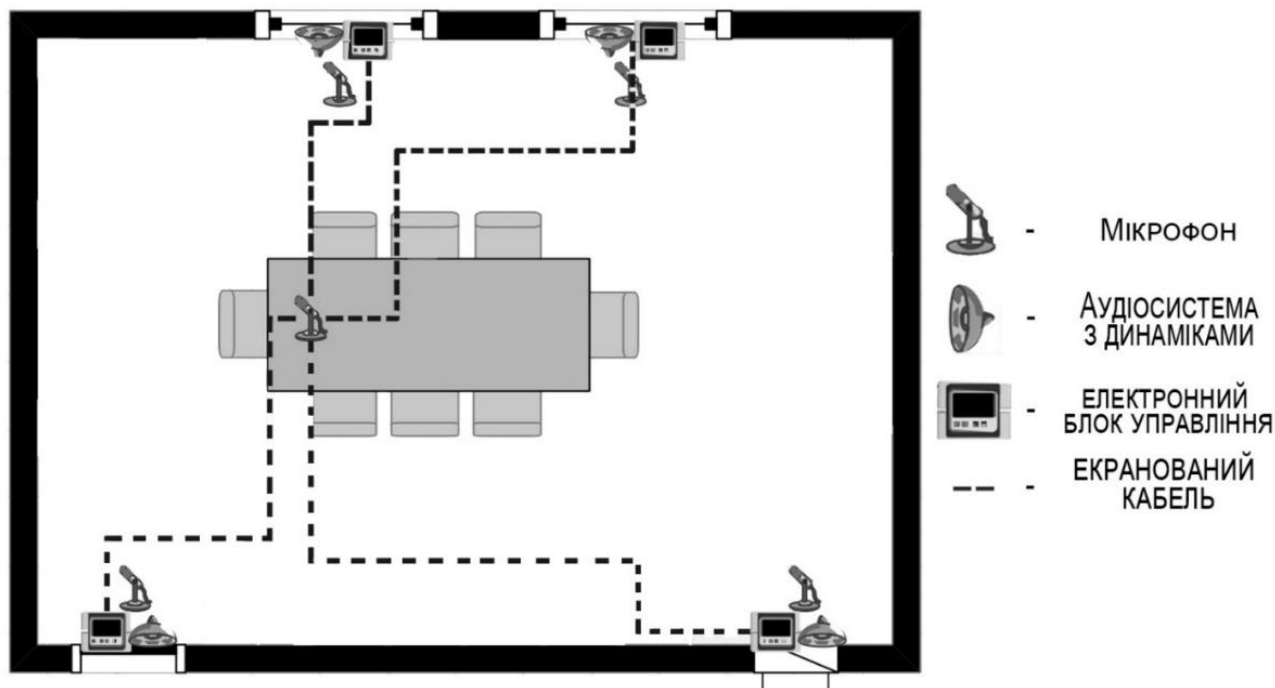


Рис. 1 САПЗ з підвищеною синхронізацією

Широко відомо [2,3], що поширення звуку (акустичних хвиль) в приміщенні залежить від багатьох факторів.

Поширення звуку в замкнутому просторі (в умовах приміщення) кардинальним чином відрізняється від умов його поширення у вільному просторі, так як звукова хвиля зустрічає на своєму шляху безліч перешкод (стіни, стеля, підлога, меблі, предмети інтер'єру і т.п.). Звукова хвиля, б'ючись об перешкоду, частково відбивається від неї, частково поглинається та частково проходить крізь перешкоду. Звісно, чим твердіше і щільніше стіна, тим більшу частину акустичної енергії вона буде відбивати назад у внутрішній простір приміщення.

Звукові хвилі відбиваються від перешкод гостроспрямовано, тому в місцях їх відбиття від стін, стелі та підлоги, тобто, в стороні від основного джерела звуку з'являються його додаткові "образи" (вторинні, «уявні» джерела звуку) або, так звані «фантоми». Відбиття, взаємодіючи між собою та з прямим звуком, спотворюють його і погіршують виразність звукової картини [3,4]. У замкнутому просторі (в умовах приміщення) виділяють три джерела звуку (рис. 2). Якщо врахувати всі суттєві для конкретного випадку технічні канали витоку акустичної інформації [5], а

також такі акустичні залежності (характеристики) приміщення між точкою розташування джерела звуку, що придушується (доповідач), і точками каналів витоку акустичної інформації на границях контрольованої зони:

- часові (час поширення акустичної хвилі);
- амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) і фазо-частотні характеристики (ФЧХ);
- ревербераційні (відбиття звукових хвиль від перешкод, відлуння, тощо).

Отже можна, в принципі, відмовитися від використання додаткових мікрофонів біля кожного каналу витоку мовної інформації. Це спрощує апаратну частину системи та процес її встановлення. Вказані вище характеристики для кожного конкретного приміщення можуть бути зняті завчасно і внесені в електронні блоки управління, які вироблятимуть пригнічуючі сигнали.

ПОТЕНЦІЙНІ ПЕРЕВАГИ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

При такому підході до захисту акустичної інформації можемо реалізувати наступні переваги:

1. Кожен блок заздалегідь готовий до перетворення отриманого від мікрофона електричного сигналу з метою вироблення максимально

ефективного сигналу придушення без суттєвих затримок у часі. Це забезпечується заздалегідь введеному у процесор алгоритму дій (програмі).

2. В такій системі будуть придушуватися тільки звуки, які існують біля основного мікрофону (акустична інформація, яку слід захисти-

ти), не порушуючи решту нережимної частини звукової «картини» (шуми навколишнього середовища як в межах контрольованої зони, так і за її межами). Ці сторонні звуки, крім того, також будуть ускладнювати злоумисникам зняття інформації, що приховується.

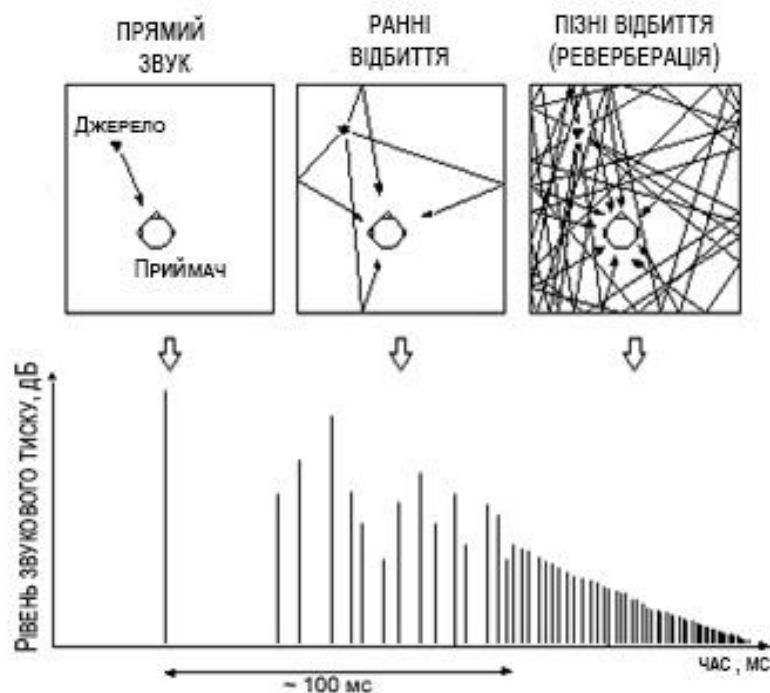


Рис. 2 Ехограма приймача, що відображає прямий звук, ранні відбиття і реверберацію

3. Оскільки природний звуковий фон при цьому не порушується, то сам факт та місце проведення перемовин будуть замасковані. Зловмисники будуть чути за межами контрольованої зони лише природні звуки навколишнього середовища. В інших подібних системах, в ідеальному випадку, була тиша. Це, певним чином, вказувало на наявність секретних перемовин.

4. Також, не будуть витрачатися ресурси системи на придушення цих «зайвих» (нережимних) звуків, що дозволить розвантажити процесор від зайвої роботи, а значить може підвищити його швидкодію та надійність (менший нагрів).

5. Вимоги до максимальної потужності акустичних випромінювачів теж можуть бути знижені оскільки звукові коливання, які треба погасити на границях контрольованої зони часто бувають значно нижчими по потужності (гучності) ніж сторонні звуки, котрі інші системи придушують без потреби. Це знижує вартість таких комплектів

апаратури та зменшує їх вагу та габарити. Як наслідок цього, випромінювачі звуків (динаміки) будуть мати менші розміри і можуть бути розміщені в каналах витоку інформації (повітроводи, системи кондиціонування тощо) з меншими розмірами.

6. В наслідок вищезазначеного, зменшиться споживання електроенергії. Ця властивість набуває особливого значення при живленні таких систем від автономного джерела енергії з обмеженим енергоресурсом (батареї, акумулятори, тощо).

7. Оскільки система буде реагувати лише на промову доповідача (відповідно до пункту 2 цього переліку), яка природньо має паузи між словами та фразами, то переваги, що зазначені в пунктах 4-6 цього переліку, це більш проявляться. Під час таких пауз система «відпочиває».

Процедуру попереднього налаштування системи можна спростити, використовуючи налаш-

тування за допомогою тестових сигналів в автоматичному режимі.

ВИСНОВКИ

Запропонована система активного звукопридушення відрізняється відсутністю додаткових мікрофонів біля кожного каналу витoku акустичної інформації та здатністю «розумного» підходу до процесу звукопридушення режимної інформації.

Все це спрощує процедуру встановлення таких систем в приміщеннях, що захищаються, та потребує від системи меншої потужності. Природний звуковий фон при цьому не порушується, що маскує сам факт перемовин.

Такі системи можуть бути застосовані також для маскування характерних акустичних звуків роботи режимного обладнання та апаратури в лабораторіях та на виробництвах.

Однак, такі системи потребують попереднього налаштування та корегування цих налаштувань при зміні умов розповсюдження звукових коливань в приміщенні (перестановка меблів, устаткування і таке інше).

Таку систему можна пропонувати для стаціонарних кімнат переговорів, кабінетів керівників, виробничих приміщень, тощо.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Лізунов С.І., Філобок Є.В. Захист мовної інформації з використанням систем активного звукопридушення. *Zahist informacii. Ukrainian information security research journal*. Том 23, № 1 (2021), с. 20-25. ISSN 2410-7840. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ZI>.
- [2] Как звук распространяется в пространстве? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://information-technology.ru/sci-pop-articles/23-physics/265-kak-zvuk-rasprostranyaetsya-v-prostranstve>.
- [3] Основы распространения звука в свободном и замкнутом пространстве. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://jcs.com.ua/news/osnovy-rasprostraneniya-zvuka-v-svobodnom-i-zamknutom-prostranstve>.
- [4] Звуковые волны. Источники звука. Характеристики звука (Иванова М.Г.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://interneturok.ru/lesson/physics/9-klass/mechanicheskie-kolebaniya-i-volny/zvukovy-volny-istochniki-zvuka-harakteristiki-zvuka-ivanova-m-g>.
- [5] Технические каналы утечки акустической (ре-

чевой) информации. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=957&lvl=04.02>.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА АКТИВНОГО ПОДАВЛЕНИЯ ЗВУКА

Обычно, для устранения утечки информации по акустическому каналу, применяют либо звукоизоляцию, либо генераторы коррелированных акустических помех. В первом случае (пассивный метод) требуются значительные временные затраты на проведение работ по звукоизоляции. Во втором случае (активный метод) наличие генераторов шума создаёт дискомфорт при проведении переговоров. Само излучение является демаскирующим признаком, облегчающим злоумышленникам определить время и место переговоров. Недостатки обоих перечисленных выше методов могут быть частично устранены, если применить системы активного подавления акустических шумов (Active Noise Control, Active Noise Cancellation, ANC, Active Noise Reduction, ANR). Системы активного шумоподавления основаны на процессе интерференции волн. Наиболее эффективно такие системы справляются с шумом от 100 Гц до 1 кГц. Несмотря на то, что сам по себе метод позволяет эффективно подавлять окружающие звуки, реальные устройства не всегда справляются с этой задачей, особенно с акустическими колебаниями с частотой более тысячи Герц. Дело в том, что на регистрацию звука и вычисления противоположной волны у микроконтроллеров уходит некоторое время. Из-за этого излучаемый ими звук уже не полностью противоположен входящему звуку, а отстает от него по фазе. Этот недостаток можно уменьшить, если сигнал, который надо подавить, подавать на вход такого устройства по электрическому или электромагнитному каналу. Благодаря тому, что электрический сигнал распространяется быстрее звука, прибор начинает обрабатывать сигнал ещё до его прихода в виде акустической волны. Благодаря этому микроконтроллер успевает подобрать «противоположный» звук, совпадающий по фазе с оригинальным, с меньшим запаздыванием. Шумоподавление таких систем работает для звуков с частотой до 4 кГц. Таким образом, на границах контролируемой зоны можно понизить уровень акустических волн от источников режимной информации до безопасной величины. Такие системы можно также с успехом использовать в режимных помещениях, где циркулирование акустической (речевой) информации запрещено нормативными документами или инструкциями. Дальнейшее усовершенствование такой системы возможно, если учесть следующие зависимости (характеристики) помещения между точкой расположения звука, который подавляется (докладчик), и точками каналов утечки акустической информации на границах контролируемой зоны: временные (время распространения акустической волны), частотные (АЧХ и ФЧХ), реверберационные (отражение звуко-

вых волн от препятствий). Эти характеристики могут быть сняты заблаговременно и внесены в электронные блоки управления, которые вырабатывают подавляющие сигналы. В таком случае каждый блок заблаговременно будет готов к преобразованию полученного от микрофона сигнала с целью выработки максимально эффективного сигнала подавления. При этом, в принципе, можно вообще отказаться от применения дополнительных микрофонов около каждого канала утечки речевой информации. Дальнейшее усовершенствование системы активного подавления звука направлено на повышение эффективности, скрытости факта и места проведения переговоров, уменьшение энергопотребления системы.

Ключевые слова: акустика, акустическая защищенность, активное шумоподавление, защита информации, распространение звука в среде, система активного шумоподавления, активное звукоподавление, система активного звукоподавления.

IMPROVED ACTIVE SOUND REDUCTION SYSTEM

Usually, to eliminate the leakage of information through the acoustic channel, either sound insulation or generators of correlated acoustic noise are used. In the first case (passive method) requires a significant amount of time to carry out sound insulation work. In the second case (active method), the presence of noise generators creates discomfort during negotiations. The radiation itself is an unmasking sign, which makes it easier for attackers to determine the time and place of negotiations. The disadvantages of both of the above methods can be partially eliminated by using active noise reduction systems (Active Noise Control, Active Noise Cancellation, ANC, Active Noise Reduction, ANR). Active noise reduction systems are based on the process of wave interference. These systems are most effective at handling noise from 100 Hz to 1 kHz. Despite the fact that the method itself allows you to effectively suppress ambient sounds, real devices do not always cope with this task, especially with acoustic vibrations with a frequency of more than a thousand Hertz. The fact is that it takes some time for microcontrollers to register the sound and calculate the opposite wave. Because of this, the sound they emit is no longer completely opposite to the incoming sound, but lags behind it in phase. This disadvantage can be reduced if the signal to be suppressed is fed to the input of such a device via an electric or electromagnetic channel. Due to the fact that the electrical signal travels faster than sound, the device starts to process the signal even before it arrives in the form of an acoustic wave. Thanks to this microcontroller has time to pick up the "opposite" sound that is in phase with the original, with less late. The noise reduction

of such systems works for sounds with a frequency of up to 4 kHz. Thus, at the boundaries of the controlled area, it is possible to reduce the level of acoustic waves from the sources of regime information to a safe value. Such systems can also be successfully used in secure rooms where the circulation of acoustic (speech) information is prohibited by regulatory documents or instructions. Further improvement of such a system is possible if we take into account the following dependencies (characteristics) of the room between the location of the sound that is suppressed (speaker) and the points of the acoustic information leakage channels at the boundaries of the controlled area: temporary (time of propagation of an acoustic wave), frequency (amplitude-frequency response and phase-frequency response), reverberation (reflection of sound waves from obstacles). These characteristics can be taken in advance and entered into electronic control units that generate suppressing signals. In this case, each block is ready in advance for converting the signal received from the microphone in order to develop the most effective suppression signal. Thus, in principle, it is possible in general to refuse the use of additional microphones around each channel of speech information leakage. Further improvement of the active sound suppression system is aimed at increasing the efficiency, concealment of the fact and place of negotiations, and reducing the power consumption of the system.

Key words: acoustics, acoustic protection, active noise reduction, information protection, sound propagation in the environment, active noise reduction system, active sound reduction, active sound reduction system.

Лізунов Сергій Іванович, к.т.н., доцент, доцент кафедри «Захист інформації» Національного університету «Запорізька політехніка».

E-mail: s.i.lizunov@i.ua.

Orcid ID: 0000-0001-8977-8705.

Лизунов Сергей Иванович, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Защита информации» Национального университета «Запорожская политехника».

Lizunov Sergey, assistant professor of the Information Security Department, National University «Zaporizhzhia Polytechnic».

Філобок Євгеній Віталійович, студент Національного університету «Запорізька політехніка».

E-mail: filobock1999@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0002-4105-3841.

Филобок Евгений Витальевич, студент, Национального университета «Запорожская политехника».

Filobok Evgenij, student, National University «Zaporizhzhia Polytechnic».