

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на  
правах рукопису

ПАВЛЕНКО ЄВГЕН ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.396:004.056.5](043.3)

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

# **ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕХОПЛЕННЯ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ІЗ ВИДІЛЕНОГО ПРИМІЩЕННЯ ТА СПОСОБИ ЙОГО ЗАХИСТУ ВІД ВИТОКІВ ІНФОРМАЦІЇ ТЕХНІЧНИМИ КАНАЛАМИ**

172 Телекомунікації та радіотехніка

17 Електроніка та телекомунікації

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Є. В. Павленко

Науковий консультант: Степанов Михайло Миколайович, доктор технічних  
наук, старший науковий співробітник.

Київ - 2024

## АНОТАЦІЯ

**Павленко Є.В. Оцінка можливості перехоплення мовної інформації із виділеного приміщення та способи його захисту від витоків інформації технічними каналами.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі підвищення ефективності та вдосконалення захисту приміщень від витоків інформації по акустичним каналам шляхом удосконалення розрахункового методу визначення словесної розбірливості з можливістю використання оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади, що дозволить не тільки оцінити можливість перехоплення мовної інформації, а й забезпечити її захист. Крім того, була розширена математична модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації засобами ЛСАР (лазерні системи акустичної розвідки), а у зв'язку з високою інформативністю даних каналів, дістала подальшого розвитку математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації шляхом врахування параметрів передавача та приймача, що дозволило розрахувати оптимальний рівень небезпечного сигналу та маскуючого шуму в задачах протидії перехопленню інформації засобами технічної розвідки.

У *першому розділі* дисертації проаналізовані технічні канали витоку інформації виділеного приміщення. Серед розглянутих каналів: прямий акустичний, акустовібраційний, акустоелектричний, оптико-електронний та електромагнітний канали.

Розглянуто методи захисту мовної інформації від її витоків через акустичні канали, приведена послідовність заходів при організації захисту мовної інформації від її витоків із виділеного приміщення, наведений список засобів та способів перехоплення мовної інформації, а також заходів протидії для кожного з приведених акустичних каналів.

Для забезпечення вимог по електромагнітній безпеці виділеного приміщення було розглянуто екранування електромагнітних хвиль. Показані основні положення і залежності екранування електричних, магнітних та електромагнітних екранів, розглянуті вимоги до електричних та магнітостатичних екранів. Показаний розрахунок ефективності екранування магнітних та немагнітних матеріалів на заданих частотах при різних значеннях провідності та товщини стінок екрану.

Розглянуто показник словесної розбірливості, для оцінки захисту виділеного приміщення від витоків акустичної інформації, приблизну шкалу оцінки перехопленого мовного повідомлення, критерії ефективності захисту виділених приміщень з точки зору показника словесної розбірливості, розрахунковий та інструментально-розрахунковий методи оцінки розбірливості мови, а також послідовність дій при здійсненні контролю ефективності захисту виділеного приміщення від витоків акустичної інформації при використанні інструментально-розрахункового методу.

У *другому розділі* дисертації проводиться аналітичний огляд та застосування математичних моделей акустичного, оптико-електронного та радіоелектронного каналів витоку інформації.

Розглянута математична модель акустичного каналу витоку інформації дозволила оцінити стан захищеності потенційних акустичних каналів витоку мовної інформації розрахунковим методом, враховуючи можливі просторові і енергетичні умови розвідувального контакту в каналі та забезпечуючи високу точність оцінки захищеності мови, модель встановлює функціональну залежність розбірливості мови від характеристик сигнально-завадової обстановки в каналі. Для оцінки словесної розбірливості модель використовує формантний метод. Для забезпечення адекватності фізичних процесів протікаючих в каналі, приведена

математична модель акустичного каналу витоку інформації представлена у вигляді сукупності чотирьох взаємозв'язаних моделей, достатньо точно описуючих акустичний сигнал, який створюється джерелом мови, акустичні навмисні перешкоди і природні шуми, вплив неоднорідного середовища розповсюдження і можливості акустичного приймача по розпізнаванню мови.

Використана в дослідженні математична модель оптико-електронного каналу витоку акустичної мовної інформації дозволила змодельовати загрози витоку мовної інформації через віконні отвори та пройоми з використанням оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови. Дана загроза заснована на модулюванні відбитого лазерного випромінювання згинальними коливаннями віконних шибок, джерелом яких являються мовні сигнали, що циркулюють всередині приміщень. Дана модель дозволяє визначити відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму на виході детектора та розрахувати словесну розбірливість мови на виході оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови з урахуванням всіх перетворень вихідного акустичного сигналу, шумових складових і відношень сигнал/шум в точках знімання інформації засобами дистанційного прослуховування мови.

Приведена математична модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації була розширена залежностями для визначення величини сигнал/шуму на вході оптико-електронної апаратури та відповідної їй словесної розбірливості для отримання мінімального значення словесної розбірливості на виході оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови. Також, в роботі приведений зв'язок зазначеної моделі з представленою методикою оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації виділеного приміщення, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації через віконні отвори та пройоми з використанням оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови.

Використана в дослідженні математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації при різних модифікаціях функції правдоподібності, яка по суті представляє собою математичний запис теореми Байеса, показує яким чином із

апріорних даних і результатів аналізу прийнятого коливання формуються апріорні значення. Базуючись на положеннях теорії оптимального прийому, модель описує процес перетворення прийнятого розвідувальним приймачем електромагнітного коливання з метою прийняття рішення про наявність сигналу, враховуючи вимоги незаниження оцінки можливостей розвідки. При вирішенні задач в контексті даної теорії відповідь повинна бути отримана як на основі попередніх (апріорних) відомостей про сигнал та завади, так і результатів аналізу даних, що містяться в прийнятому коливанні. В контексті даної моделі була розглянута нерівність для винесення рішення про наявність або відсутність детермінованого сигналу на фоні білого шуму, а також функціональна схема оптимального приймача з чотирма можливими випадками виявлення сигналу, що порівнюються з встановленим порогом засобу радіоелектронної розвідки.

У *третьому розділі* дисертації удосконалено розрахунковий метод визначення словесної розбірливості шляхом використання оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади, для визначення рівня захищеності мовної інформації виділеного приміщення. Для практичної реалізації удосконаленого методу була представлена методика оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації, приведені результати її розрахунків.

Представлена методика проводить оцінку захищеності мовної інформації виділеного приміщення шляхом розрахунку відношення сигнал/шуму за огороженнями приміщення, а також оцінює можливість перехоплення мовної інформації на основі розрахунку значень словесної розбірливості при навмисному і ненавмисному прослуховуванні мовної інформації із суміжного приміщення через елементи його конструкції. Розрахунок значень словесної розбірливості заснований на врахуванні параметрів виділеного приміщення (площі та типу конструктивних елементів, наявність або відсутність спрямованого мікрофону) та не потребує використання широкого спектру інструментально-вимірювального обладнання. Також, в роботі приведений зв'язок зазначеної методики з оптико-електронним каналом витоку мовної інформації, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації через віконні отвори та пройми з використанням

оптико-електронної лазерної апаратури дистанційного прослуховування мови. А у випадку невідповідності словесної розбірливості отриманої за результатами приведеної методики встановленим значенням, можна регулювати її величину за допомогою використаної в методиці оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади. Реалізація даної завади заснована на врахуванні вагових коефіцієнтів, що характеризують вірогідність наявності формант мови в даній частотній смузі і відображаючих вклад даної смуги в словесну розбірливість. Таким чином, при розподіленні енергії шумового сигналу по частотним смугам у відповідності з ваговими коефіцієнтами, використана оптимальна з точки зору приведеної методики завада. Процес розрахунку значень словесної розбірливості та оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади був автоматизований в програмному середовищі Mathcad, а результати розрахунку приведені в роботі.

Також, в роботі дістала подальшого розвитку математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації шляхом врахування параметрів передавача та приймача, що дозволило розрахувати оптимальний рівень небезпечного сигналу та маскуючого шуму.

У першому випадку, на базі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації, приведений розрахунок оптимального рівня сигналу між передавачем та приймачем в межах контрольованої зони, також представлені залежності умов не отримання корисного сигналу приймачем засобу радіоелектронної розвідки за межами контрольованої зони.

У другому випадку, на базі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації та одного з можливих випадків виявлення розвідувальним приймачем сигналу на фоні шуму, представлена можливість запобігання перехопленню сигналу, що виходить за межі контрольованої зони та перевищує заданий поріг засобу радіоелектронної розвідки, шляхом його маскування спеціально сформованим шумом, приведений алгоритм визначення оптимального рівня маскуючого шуму.

**Ключові слова:** розбірливість мови, шумова завада, сигнал, система безпеки, запобігання витоку мовної інформації, коефіцієнт розбірливості мови, захист мовної інформації, побічні електромагнітні випромінювання і наведення, захист інформації, спектральний склад випромінювання, технічний захист інформації, технічна розвідка, технічні канали витоку інформації.

## ANNOTATION

***Pavlenko Y.V. Assessment of possibility the interception of speech information from the premises and ways of its protection from leakage of information via technical channels.*** - Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of PhD in the field of knowledge 17 "Electronics and telecommunications" in the specialty 172 "Telecommunications and radio engineering". - National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute" MES of Ukraine, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute" MES of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to solving the actual scientific and practical problem of increasing the efficiency and improving protection of premises from information leaks via acoustic channels by improving the calculation method of determining speech intelligibility with the possibility of using the interference of optimal criterion of the minimum integral value, which allows not only to assess the possibility of interception of speech information, but also to ensure of its security. In addition, was expanded the mathematical model of the optical-electronic channel of speech information leakage which allows to assess the possibility of interception of speech information by means of LARS (laser acoustic reconnaissance systems) and also due to connection with the high informativeness of these channels received the further development the mathematical model of the radio-electronic leakage channel information by taking into account the parameters of the transmitter and receiver, which made it possible to calculate the optimal level of dangerous signal and masking noise in the tasks of countering the interception of information by means of technical intelligence.

*In the first chapter* of the dissertation was analyzed the technical channels of information leakage of the allocated premises. Among the reviewed channels: direct acoustic, acoustovibrational, acoustoelectric, optical-electronic and electromagnetic channels.

Considered the methods of protecting speech information from its leaks via acoustic channels, presented the sequence of measures for organization of protection of



speech information from its leaks from premises, given the list of means and methods of interception of speech information, as well as countermeasures for each of the given acoustic channels.

Considered shielding of electromagnetic waves to ensure electromagnetic safety requirements of the allocated premises. Shown the main provisions and dependences of the shielding of electric, magnetic and electromagnetic screens, considered the requirements for electric and magnetostatic screens. Shown the calculation of the efficiency of shielding of magnetic and non-magnetic materials at given frequencies on different values of conductivity and thickness of the shield walls.

Considered speech intelligibility index, for evaluating the protection of allocated premises from acoustic information leaks, an approximate scale for evaluating an intercepted speech message, criteria for the effectiveness of the protection of allocated premises from the point of view of a verbal intelligibility indicator, calculation and instrumental-calculation methods for evaluating speech intelligibility, as well as the sequence of actions for implementing control of the effectiveness of the protection of the allocated premises from the leakage of acoustic information using the instrumental and calculation method.

*In the second chapter* of the dissertation carried out an analytical review and application of mathematical models of acoustic, optical-electronic and radio-electronic channels of information leakage.

The considered mathematical model of the acoustic channel of information leakage made it possible to assess the state of security of potential acoustic channels of speech information leakage by calculation method, taking into account the possible spatial and energy conditions of intelligence contact in the channel and ensuring high accuracy of speech security assessment, the model establishes the functional dependence of speech intelligibility on the characteristics of the signal-jamming environment in the channel. For assessing speech intelligibility, the model uses the formant method. To ensure the adequacy of the physical processes occurring in the channel given mathematical model of the acoustic channel of information leakage presented as a set of four interconnected models that sufficiently accurately describe the acoustic signal created by the speech

source, acoustic intentional interference and natural noises, the influence of a heterogeneous propagation environment and possibilities acoustic receiver for speech recognition.

The mathematical model of the optical-electronic channel of the leakage of acoustic speech information used in study made it possible to simulate the threats of the leakage of speech information through window openings using optical-electronic equipment for remote speech eavesdropping. This threat based on the modulation of reflected laser radiation by bending vibrations of window panes, the source of which are speech signals circulating inside the premises. This model allows you to determine the ratio of the power of the useful signal to the power of the noise at the output of the detector and calculate the speech intelligibility of the speech at the output of the optical-electronic equipment for remote speech eavesdropping, taking into account all transformations of the output acoustic signal, noise components and signal-to-noise ratios at the points of information capture by means of remote speech eavesdropping.

The given mathematical model of the optical-electronic channel of speech information leakage was extended by dependencies for determination of signal-to-noise value at the input of the optical-electronic equipment and the corresponding speech intelligibility for obtaining the minimum value of the speech intelligibility at the output of the optical-electronic remote speech eavesdropping. Also, in paper shown the connection of the specified model with the presented methodology for assessing the possibility of interception and protection of speech information of allocated premises, which allows to assess the possibility of interception of speech information through window openings using optical-electronic equipment for remote speech eavesdropping.

The mathematical model of the radio-electronic information leakage channel used in study with various modifications of the likelihood function which is essentially a mathematical notation of Bayes' theorem shows how a priori values are formed from a priori data and the results of the analysis of the received oscillation. Based on the provisions of the theory of optimal reception, the model describes the process of converting the electromagnetic oscillation received by the intelligence receiver in order to make a decision about the presence of a signal, taking into account the requirements of

not underestimating the intelligence capabilities. When solving problems in the context of this theory, the answer should be obtained both on the basis of previous (a priori) information about the signal and interference, and the results of the analysis of the data contained in the accepted oscillation. In the context of this model, an inequality was considered for making a decision about the presence or absence of a deterministic signal against a background of white noise, as well as a functional scheme of an optimal receiver with four possible cases of signal detection, which are compared with the established threshold of a radio electronic intelligence tool.

*In the third section* improved the calculation method of determining speech intelligibility by using the interference of optimal criterion of the minimum integral value to determine the level of protection of speech information of the allocated premises. For the practical implementation of the improved method, presented methodology for assessing the possibility of interception and protection of speech information and presented the results of its calculations.

The presented technique assesses the security of the speech information of allocated premises by calculating the signal-to-noise ratio behind the premises enclosures, and evaluates the possibility of interception of speech information based on the calculation of speech intelligibility values by intentional and unintentional eavesdropping of speech information from the adjacent premises through its structural elements. The calculation of speech intelligibility values based on the parameters of the allocated premises (area and type of structural elements, presence or absence of a directional microphone) and does not require using of wide range of instrumental and measuring equipment. Also, the paper shows the connection of the specified methodology with the optical-electronic channel of speech information leakage, which allows to evaluate the possibility of interception of speech information through window openings using optical-electronic laser equipment for remote speech eavesdropping. And in the case of inconsistency of the speech intelligibility obtained by the results of the given methodology with the established values, it is possible to adjust its values with the help of used in methodology the interference of criterion of the minimum integral value. The implementation of this interference based on the weighting coefficients characterizing the

probability of the presence of speech formants in a given frequency band and reflecting the contribution of this band to speech intelligibility. Thus, when distributing the energy of a noise signal across frequency bands in accordance with the weighting coefficients, used from the point of view of the presented methodology the optimal interference. The process of calculating the values of speech intelligibility and the interference of optimal criterion of the minimum integral value was automated with the help of Mathcad software and the results of the calculation are given in the paper.

Also, in paper presented the further development of mathematical model of the radio-electronic channel of information leakage taking into account the parameters of the transmitter and receiver which made it possible to calculate the optimal level of dangerous signal and masking noise.

In the first case, on basis of the model of radio-electronic channel of leakage information given the calculation of optimal signal level between transmitter and receiver within the controlled zone as well as presented dependences of the conditions of non-reception of a useful signal by receiver of radio-electronic intelligence outside the controlled zone.

In the second case, based on the model of radio-electronic channel of leakage information and one of the possible cases of signal detection by the intelligence receiver against the background of noise presented the possibility of preventing the interception of a signal that goes beyond the controlled zone and exceeds the specified threshold of the radio-electronic intelligence tool by masking it with specially formed noise presented the algorithm for determining the optimal level of masking noise.

**Keywords:** speech intelligibility, noise disturbance, signal, security system, prevention of leakage of speech information, speech intelligibility index, protection of speech information, side electromagnetic radiation and guidance, information protection, radiation spectrum, technical protection of information, technical intelligence, technical channels of information leakage.

### Список публікацій здобувача

1. Pavlenko, Y. "Determination of Signal Level for Protection of Information in Case of Its Interception by Technical Means of Intelligence". *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 4, no. 1(72), Aug. 2023, pp. 25-28, doi:10.15587/ Суть даного методу зводиться до наступного 06-5448.2023.286193.
2. Павленко Є.В., Степанов М.М. Маскування вихідного сигналу, визначення мінімально необхідного рівня маскуючого шуму // Вісник Хмельницького Національного університету. Технічні науки. 2023, №4. С. 231–235. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-323-4-231-235>
3. Павленко Є.В., Степанов М.М. Електромагнітне екранування як спосіб захисту об'єктів інформатизації від витоків інформації технічними каналами // Вісник Хмельницького Національного університету. Технічні науки. 2023, №2. С. 231–239. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-319-1-240-246>
4. Pavlenko Y. Technical channels of information leakages / Pavlenko Y. // *Proceedings of 6th International scientific and practical conference: «Global science: prospects and innovations»*. Cognum Publishing House - Liverpool, 2024. – Pp. 92-95.
5. Pavlenko Y. Methods of protecting speech information from leakages via technical channels / Pavlenko Y. // *Proceedings of 6th International scientific and practical conference: «Modern research in science and education»*. BoScience Publisher - Chicago, 2024. – Pp. 116-118.
6. Pavlenko Y. Stages of protection of speech information against leakage via technical channels / Pavlenko Y. // *Proceedings of 6th International scientific and practical conference: «Old and new technologies of learning development in modern conditions»*. - Berlin, 2024. – Pp. 239-240.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....  | 16 |
| ВСТУП .....  | 17 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ<br>ВИДІЛЕНОГО ПРИМІЩЕННЯ, МЕТОДИ ТА ЗАХОДИ ПРОТИДІЇ ДАНИМ<br>КАНАЛАМ, СЛОВЕСНА РОЗБІРЛИВІСТЬ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ .....      | 21 |
| 1.1 Аналіз технічних каналів витоку інформації виділеного приміщення.....  | 21 |
| 1.2 Методи та заходи протидії витоку мовної інформації технічними каналами   | 43 |
| 1.3 Електромагнітне екранування, як спосіб захисту об'єктів інформатизації від<br>витоків інформації по технічним каналам .....  | 48 |
| 1.4 Словесна розбірливість мовної інформації .....   | 61 |
| Висновки до розділу 1 .....  | 64 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ<br>МОДЕЛЕЙ ТЕХНІЧНИХ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ .....  | 66 |
| 2.1 Математична модель акустичного каналу витоку мовної інформації .....   | 66 |
| 2.2 Математична модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації.<br>.....   | 74 |
| 2.3 Математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації .....  | 78 |
| Висновки до розділу 2 .....  | 85 |
| РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ОЦІНКИ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕХОПЛЕННЯ ТА<br>ЗАХИСТУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВИДІЛЕНОГО ПРИМІЩЕННЯ,<br>ОПТИМІЗАЦІЯ РІВНЯ НЕБЕЗПЕЧНОГО СИГНАЛУ ТА МАСКУЮЧОГО<br>ШУМУ. .... | 88 |
| 3.1 Методика оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації<br>виділеного приміщення. ....  | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2 Розрахунок оптимального рівня сигналу в межах контрольованої зони та визначення умов його не отримання за її межами засобами технічної розвідки. | 99  |
| 3.3 Розрахунок оптимального рівня маскуючого шуму для захисту сигналу, в умовах його перехоплення засобами технічної розвідки .....                  | 107 |
| Висновки до розділу 3 .....  | 110 |
| ВИСНОВКИ.....  | 111 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 114 |
| ДОДАТОК А.....   | 124 |
| АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК СЛОВЕСНОЇ РОЗБІРЛИВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИМАЛЬНОЇ ЗАВАДИ. ....  | 124 |
| ДОДАТОК Б .....  | 125 |
| СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....   | 148 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

|      |  |
|------|--|
| ВП   | виділене приміщення                    |
| СП   | суміжне приміщення                     |
| ДТЗС | допоміжні технічні засоби та системи   |
| ЕРС  | електрорушійна сила                    |
| ТЗР  | технічні засоби розвідки               |
| ЛСАР | лазерні системи акустичної розвідки    |
| РЕП  | радіоелектронний пристрій              |
| РП   | розвідувальний приймач                 |
| ОІД  | об'єкт інформаційної діяльності        |
| ПЕМВ | побічні електромагнітні випромінювання |
| ЕЕ   | ефективність екранування               |
| РЕА  | радіоелектронна апаратура              |
| ЕМП  | електромагнітне поле                   |
| НЧ   | низькі частоти                         |
| ВЧ   | високі частоти                         |
| ТР   | технічна розвідка                      |
| ЗТР  | засіб технічної розвідки               |



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Конфіденційна інформація, що циркулює на підприємстві грає важливу роль у його функціонуванні. Наявність спеціальних виділених приміщень (ВП) для обробки, зберігання та передачі конфіденційної інформації, наприклад, кімнати для переговорів, стала нормою не лише у великих корпораціях, а й в організаціях середньої величини. Вся така інформація може стати об'єктом інтересу зловмисників. Саме тому виникає потреба створювати умови, за яких можливість витоку інформації конфіденційного характеру буде мінімізована. Однак, на кожну систему захисту зловмисники знаходять способи її подолання, а отже, виникає необхідність постійного вдосконалення способів та методів для забезпечення належної захищеності конфіденційної інформації. Саме тому, необхідність захисту інформації, що міститься у ВП не викликає сумнівів.

Сутність заходів захисту зводиться до перекриття можливих каналів витоку інформації, які з'являються в силу об'єктивних умов її поширення і зацікавленості зловмисників в її отриманні. Канали витоку інформації численні. Вони можуть бути як природними так і штучними, тобто створеними за допомогою технічних засобів. Перекриття всіх можливих каналів несанкціонованого знімання інформації потребує значних витрат і тому в повному обсязі зробити це вдається далеко не завжди. В першу чергу, необхідно звернути увагу на ті з них, які можуть бути використані з найбільшою ймовірністю.

Таким чином в роботі розглядається задача підвищення ефективності та вдосконалення захисту приміщень від витоків інформації по акустичним каналам шляхом удосконалення розрахункового методу визначення словесної розбірливості з можливістю використання оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади, що дозволить не тільки оцінити можливість перехоплення мовної інформації, а й забезпечити її захист. Крім того, була розширена математична модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації засобами ЛСАР (лазерні системи акустичної розвідки), а у зв'язку з високою

інформативністю даних каналів, дістала подальшого розвитку математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації шляхом врахування параметрів передавача та приймача, що дозволило розрахувати оптимальний рівень небезпечного сигналу та маскуючого шуму в задачах протидії перехопленню інформації засобами технічної розвідки.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Викладені у дисертації нові теоретичні та практичні результати досліджень можуть використовуватися при розробці та експлуатації систем акустичної експертизи та корекції приміщень, а також у освітньому процесі кафедри прикладної радіоелектроніки за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка, в освітній програмі “Телекомунікації та радіотехніка” Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є забезпечення захисту інформації виділеного приміщення від її витоку технічними каналами.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

1. Аналіз технічних каналів витоку інформації виділеного приміщення та заходів протидії даним витокам, словесна розбірливість мовної інформації.
2. Аналітичний огляд та застосування математичних моделей акустичного, оптико-електронного та радіоелектронного каналів витоку інформації.
3. Удосконалення розрахункового методу визначення словесної розбірливості шляхом використання оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади, для визначення рівня захищеності мовної інформації виділеного приміщення.
4. Розширити математичну модель оптико-електронного каналу витоку інформації шляхом отримання аналітичних залежностей для розрахунку мінімального значення словесної розбірливості на виході детектора оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови.

5. Розширити математичну модель радіоелектронного каналу витоку інформації шляхом отримання аналітичних залежностей для розрахунку оптимального рівня небезпечного сигналу та маскуючого шуму.

**Об'єктом дослідження** є захист інформації виділеного приміщення.

**Предметом дослідження** являється оцінка можливості перехоплення мовної інформації виділеного приміщення засобами технічної розвідки та способи його захисту від витоків інформації технічними каналами.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач використовувались наступні методи та моделі: для оцінки можливості перехоплення мовної інформації із виділеного приміщення був використаний формантний метод визначення словесної розбірливості мови. Для оцінки стану потенційного каналу витоку акустичної інформації розрахунковим методом, що дозволяє апіорно оцінити стан даного каналу для конкретного виділеного приміщення використовувалась математична модель акустичного каналу витоку мовної інформації. Для оцінки можливості перехоплення акустичної інформації по оптико-електронному каналу та розрахунку мінімального значення словесної розбірливості на виході детектора апаратури дистанційного прослуховування мови використовувалась модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації. Для оцінки можливості перехоплення електромагнітного випромінювання технічних засобів обробки інформації використовувалась математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Удосконалено розрахунковий метод визначення словесної розбірливості шляхом використання оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади, для визначення рівня захищеності мовної інформації виділеного приміщення.

2. Розширена математична модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації шляхом отримання аналітичних залежностей для розрахунку мінімального значення словесної розбірливості на виході детектора оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови.

3. Дістала подальшого розвитку математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації шляхом врахування параметрів передавача та приймача, що дозволило розрахувати оптимальний рівень небезпечного сигналу та маскуючого шуму.

**Практичне значення отриманих результатів.** Викладені у дисертації нові теоретичні та практичні результати досліджень були впроваджені в навчальний процес кафедри прикладної радіоелектроніки радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», згідно з актом впровадження, під час підготовки лабораторних та практичних занять з навчальної дисципліни [RE-80] «Спецкурс формування і оброблення сигналів» для студентів за спеціальністю 172 — «Електронні комунікації та радіотехніка».

**Особистий внесок здобувача.** Теоретичні та практичні висновки, результати розрахунків, а також представлені в роботі рішення отримані і сформульовані автором самостійно.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Окремі положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях: The 6th International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations” (Liverpool, 2024), The 6th International scientific and practical conference “Modern research in science and education” (Chicago, 2024), The 6th International scientific and practical conference “Old and new technologies of learning development in modern conditions” (Berlin, 2024).

**Публікації.** За результати досліджень опубліковано 3 наукових праці.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 111 аркушах основного тексту, містить 33 рисунка, 5 таблиць, список використаної літератури включає 77 джерел.

## **РОЗДІЛ 1.**

### **АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ ВИДІЛЕНОГО ПРИМІЩЕННЯ, МЕТОДИ ТА ЗАХОДИ ПРОТИДІЇ ДАНИМ КАНАЛАМ, СЛОВЕСНА РОЗБІРЛИВІСТЬ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

#### **1.1 Аналіз технічних каналів витоку інформації виділеного приміщення.**

У загальному випадку функціонування будь-якого технічного засобу або програмно-апаратного комплексу, що обробляє інформацію в рамках виділеного приміщення супроводжується виникненням супроводжуваних небажаних акустичних та (або) електромагнітних полів і сигналів. Подібні супроводжувачі акустичні та (або) електромагнітні випромінювання являються потенційними носіями небезпечних сигналів. Середовище поширення таких випромінювань та сигналів може бути різним: повітря, сторонні провідники, елементи конструкції і т.п. Тобто існують об'єктивні причини утворення технічних каналів витоку інформації виділених приміщень. Наявність цих каналів дозволяє зловмисникам отримати можливість негласного знімання інформації обмеженого доступу за допомогою спеціальних технічних засобів. Таким чином, у загальному випадку технічним каналом витоку інформації являється сукупність наступних елементів: об'єкта розвідки (інформативного сигналу), технічного засобу знімання інформації (закладного пристрою) та фізичного середовища поширення інформативного сигналу [1-3].

Технічні канали витоку інформації можна класифікувати наступним чином [1-7]:

- за походженням: штучні (тобто спеціально створені) та природні (віконні отвори, батареї опалення та ін.);
- за функціонуванням: реальні (тобто діючі) та потенційні (не використовуються, але існуючі);
- за фізичною природою: акустичні (у тому числі акустоелектричні, віброакустичні та інші акустико-перетворювальні), електромагнітні (у тому числі магнітні та електричні) та візуально-оптичні.

Про акустичні канали витоку інформації прийнято говорити в тих випадках, коли їх джерелом служить людина, її мовний апарат. Саму інформацію в цьому

випадку також називають мовною. Мовний апарат людини являється джерелом акустичних хвиль в діапазоні частот 70-7000 Гц [8]. Слуховий апарат людини дозволяє сприймати акустичні хвилі в діапазоні частот 20-20000 Гц [9]. Це первинні джерела та приймачі мовної інформації. Якщо ж для відтворення та прийому мовної інформації використовуються технічні засоби та пристрої, то говорячи про вторинні джерела — це, наприклад, гучномовці та мікрофони.

Залежно від фізичної природи виникнення інформаційних сигналів, середовища їх поширення, акустичні канали витоку інформації поділяються на [1,10]:

- прямі акустичні;
- акустовібраційні;
- акустоелектричні;
- параметричні.
- оптико-електронні (акустооптичні)

Прямі акустичні канали [1, 5 - 7]. В даних каналах середовищем поширення небезпечних сигналів являється повітря. Технічні засоби розвідки, за допомогою яких ведеться перехоплення інформації по прямому акустичному каналу, в якості первинного перетворювача використовують високочутливий мікрофон (рис. 1.1) або мікрофон спрямованої дії. Ці мікрофони перетворюють механічні (акустичні) коливання на електричні.



Рисунок 1.1 – Приклади високочутливих мікрофонів

В загальному випадку, можливі наступні варіанти перехоплення мовної інформації:

— з проникненням у виділене приміщення з розміщенням в ньому портативних (або закамуфльованих) диктофонів (рис. 1.2);



Рисунок 1.2 – Портативний цифровий диктофон

— з проникненням у виділене приміщення і приховане розміщення в ньому закладних пристроїв, що здійснюють передачу перехопленої інформації по радіоканалу, оптичному каналу, ланцюгам живлення, телефонним лініям, іншими з'єднувальними лініями (рис. 1.3):



а)

б)

в)

г)

Рисунок 1.3 – Приклади закладних акустичних приладів:

а) закомфльована провідна закладка; б) мережева закладка;  
в) радіозакладка з автономним живленням; г) радіозакладка з живленням від телефонної лінії

— без проникнення у виділене приміщення, з використанням спрямованих мікрофонів (або спеціальних конструкцій на їх основі), які знаходяться за межами контрольованої зони, з подальшим записом та (або) передачею перехопленої інформації на приймальні пункти по різних каналах (рис. 1.4):

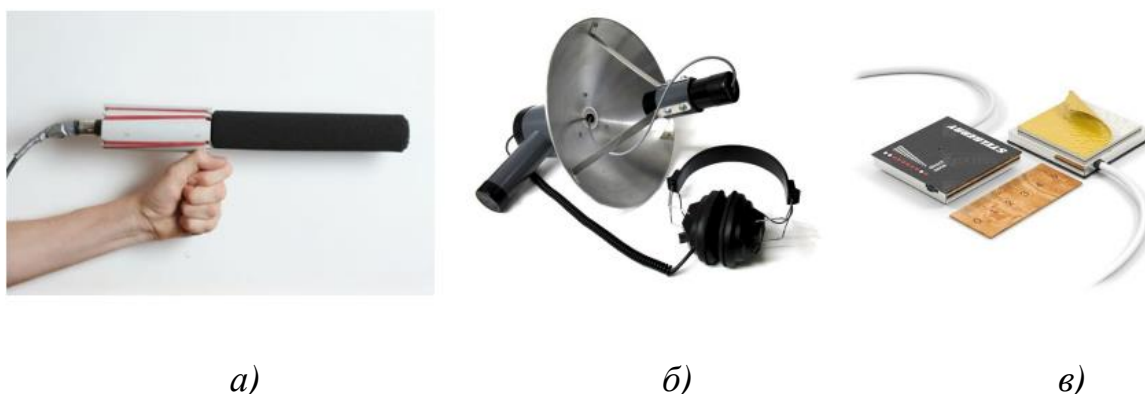


Рисунок 1.4 – Приклади високочутливих направлених мікрофонів  
закладних акустичних приладів:

a) трубчатий направлений мікрофон б) параболічний направлений мікрофон; в) активний направлений мікрофон з регулюванням чутливості

— без використання спеціальних технічних засобів розвідки окремими особами (сторонніми відвідувачами, обслуговуючим персоналом, колегами тощо), які перебувають у суміжних чи інших службових приміщеннях. Цей спосіб перехоплення мовної інформації називається ненавмисним прослуховуванням. Якщо для перехоплення інформації використовуються портативні або закамфльовані диктофони, то згодом зловмисник повинен буде повторно проникнути в дане приміщення для їх вилучення. Цей чинник є важливим недоліком цього способу перехоплення мовної інформації. Тобто, якщо службою безпеки при спеціальному обстеженні були виявлені приховані або закамфльовані диктофони, то зловмисник при повторному проникненні в приміщення ризикує бути спійманим на місці злочину. Якщо є можливість неконтрольованого і безперешкодного доступу у виділене приміщення, то в ньому можуть бути розміщені спеціальні високочутливі мікрофони малого розміру, пов'язані по провідній лінії з приймальним пунктом перехоплюваної інформації. Довжина



таких з'єднувальних ліній може бути сотнями і навіть тисячами метрів. Подібні розвідувальні акустичні системи називаються провідними мікрофонними системами. На рисунку 1.5 показані приклади мініатюрних високочутливих мікрофонів, що використовуються для провідних мікрофонних систем.

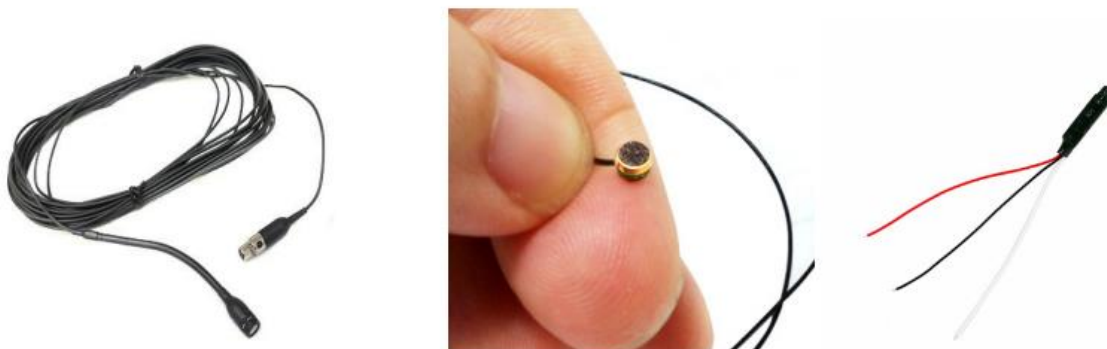


Рисунок 1.5 – Приклади високочутливих направлених мікрофонів  
закладних акустичних приладів

Приймальна та (або) передавальна апаратура перехопленої інформації розміщується найчастіше у важкодоступних місцях. Як приймачі використовуються цифрові звукозаписуючі системи з різними фільтрами (еквалайзери, фільтри верхніх та нижніх частот, октавні фільтри тощо) та програмно-апаратними функціями шумопониження.

Акустовібраційні канали [1, 5 - 7]. У даних каналах середовищем поширення небезпечних сигналів являються складові будівельних конструкцій (стелі, стіни, підлоги, балки, вікна, двері тощо) та інженерні комунікації (труби опалення, водопостачання, короби вентиляції). Усі предмети, перебуваючи в акустичному полі, зазнають пружних механічних коливань, викликаних дією цього акустичного поля. При цьому механічні коливання відбуваються за тим самим законом, за яким змінюються хвильові характеристики акустичного поля. Якщо акустичне поле представляє мовний сигнал, то для перехоплення інформації технічний засіб розвідки в якості первинного перетворювача повинен містити вібраційний датчик - акселерометр, який представляє собою датчик, що перетворює механічні пружні коливання в електричні. За фізичним принципом перетворення сигналів акселерометри можуть бути:

- п'єзоелектричні;
- місткісні;
- тензорезистивні;
- індукційні;

На рисунку 1.6 представлений зовнішній вигляд та пристрій п'єзокерамічного акселерометра



*а)*



*б)*

Рисунок 1.6 – Зовнішній вид (*а*) і пристрій (*б*) акселерометра

Акселерометр, з'єднаний з електронним підсилювачем, представляє собою електронний стетоскопом. Подібні стетоскопи дають можливість перехоплювати мовну інформацію через бетонні та цегляні стіни завтовшки до 1 м (рис. 1.7). Перевагою таких технічних засобів розвідки являється можливість перехоплювати інформацію без проникнення у виділене приміщення.



Рисунок 1.7 – Приклади електронних стетоскопів

За допомогою стетоскопів можливі наступні варіанти перехоплення інформації:

— безпосереднє підключення електронного стетоскопа до звукозаписної апаратури з можливістю паралельного прослуховування перехоплюваної мовної інформації;

— підключення електронного стетоскопа до закладного пристрою, що здійснює передачу перехопленої інформації по радіоканалу. Такі стетоскопи називаються радіостетоскопами (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Приклади радіостетоскопів з автономним живленням

Електронні стетоскопи встановлюються найчастіше у службових або технічних приміщеннях, у малопомітних місцях на труби водо- та теплопостачання або повітря вентиляції. Можлива установка на поверхні огорожувальних конструкцій в приміщенні, суміжному з тим, що захищається, а також на віконні пройоми та отвори.

Акустоелектричні канали[1, 3, 6]. В основі утворення даних каналів витоку лежить "Мікрофонний" ефект. Сутність його полягає в тому, що багато елементів та (або) вузлів радіоелектронної апаратури, головним чином допоміжні технічні засоби та системи (ДТЗС) можуть частково змінювати параметри під впливом акустичного поля. Наприклад, може змінюватися ємність у плівкових та

металоплівкових конденсаторах великої ємності; індуктивність котушок, погано закріплених на сердечниках дроселів або трансформаторів; намагніченість самих сердечників під впливом механічних деформацій (ефект Віллари); можуть з'являтися різниці потенціалів під дією зовнішніх акустичних навантажень в елементах, що містять п'єзокерамічні пластини (ефект п'єзострикції); можуть виникати статичні заряди за рахунок тертя різнорідних предметів (поверхень) один від одного (трибоелектричний ефект) тощо. Окрім подібних супутніх ефектів, деякі ДТЗС можуть мати у своєму складі безпосередньо небезпечні електроакустичні перетворювачі (датчики пожежної сигналізації, ретрансляційні гучномовці). На рис. 1.9 показані деякі акустоелектричні перетворювачі:

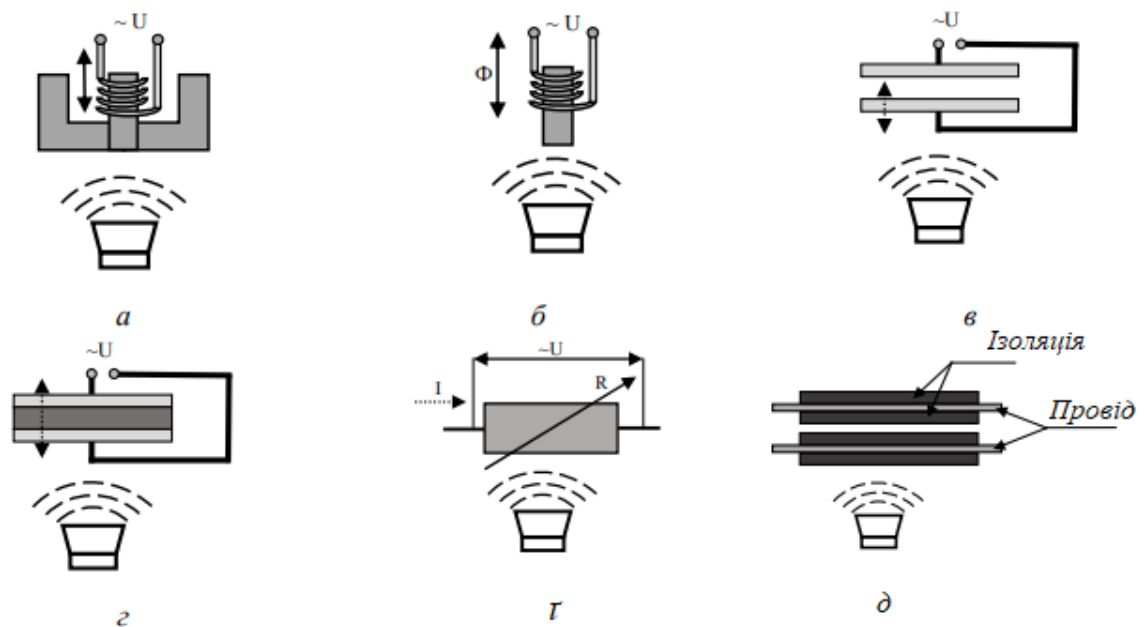


Рисунок 1.9 – Фізичні ефекти в акустоелектричних перетворювачах:

а) ефект електромагнітної індукції; б) ефект магнітострикції; в) ємнісний ефект; г) ефект п'єзострикції; ґ) тензорезистивний ефект; д) трибоелектричний ефект

У всіх випадках, зміна параметрів окремих елементів тягне за собою виникнення на них або небезпечної напруги, що змінюється за законом акустичного сигналу, або модуляції напруги та (або) струмів, що йдуть через ці

елементи. Можливі наступні варіанти перехоплення інформації по акустoeлектричному каналу:

- пасивне перехоплення;
- активне перехоплення.

При пасивному перехопленні інформації (рис. 1.10, а) технічний засіб розвідки (низькочастотний високоомний підсилювач) безпосередньо (гальванічно) підключається до провідних ліній, з'єднаних з елементами, що мають «мікрофонний» ефект. Зважаючи на незначний рівень наведених (або індукованих) ЕРС, дальність перехоплення інформації обмежується кількома метрами, у кращому випадку трохи більше десятка метрів.

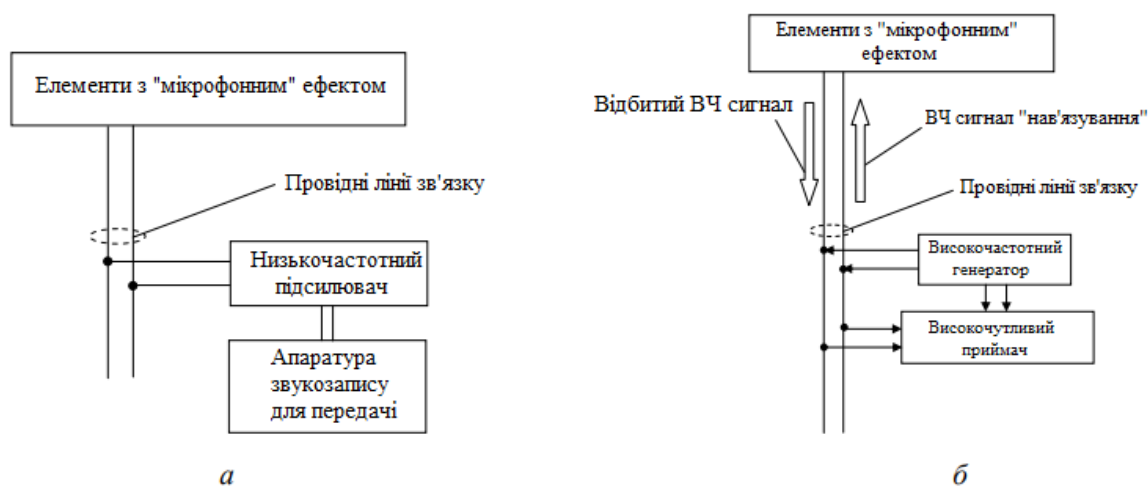


Рисунок 1.10 – Перехоплення інформації по акустoeлектричному каналу:

а) пасивне перехоплення; б) активне перехоплення

При активному перехопленні інформації (рис. 1.10, б) до провідних ліній, з'єднаних з елементами, що мають «мікрофонний» ефект, підключається генератор напруги високої частоти. Оскільки подібні елементи для такого високочастотного генератора є неузгодженим навантаженням, то високочастотний сигнал, який модулюється на цих елементах згідно з законом акустичного сигналу, буде відбиватися та поширюватися у зворотний бік або перевипромінюватись. Для прийому відбитого промодульованого сигналу використовуються спеціальні високочутливі приймачі. Даний спосіб перехоплення називається способом

високочастотного нав'язування. Дальність перехоплення при даному способі досягає кількох сотень метрів від джерела.

Параметричні канали [1, 3, 6]. З фізичної точки зору, дані канали витоку інформації практично не відрізняються від акустоелектричних каналів. Про параметричні канали прийнято говорити у тому випадку, якщо у складі ДТЗС є високочастотні генератори. Так само, як і у випадку акустоелектричних каналів витоку інформації, при впливі зовнішнього акустичного поля на різні елементи високочастотних генераторів відбувається зміна деяких параметрів складових елементів (зміна ємності, індуктивності тощо). При цьому відбувається частотна модуляція високочастотного сигналу від генератора низькочастотним акустичним сигналом (за рахунок «мікрофонного» ефекту, зміни зазорів через похибки складання і кріплення тощо). Найбільш схильні до такого впливу гетеродини радіо- та телеприймачів. Якщо подібні ДТЗС будуть знаходитися у ВП, то радіовипромінювання генераторів, модульовані акустичним сигналом, можуть бути перехоплені технічними засобами розвідки. Як і у випадку акустоелектричних каналів, можливі два варіанти перехоплення інформації по параметричному каналу:

- пасивний перехоплення;
- активне перехоплення.

При пасивному перехопленні чутливості технічного засобу радіорозвідки повинно бути достатньо, щоб приймати модульоване інформаційне радіовипромінювання генератора з подальшою демодуляцією, фільтрацією, посиленням та звукозаписом або передачею на приймальний пункт інформації по радіоканалу.

При активному перехопленні необхідно впливати на ДТЗС, що знаходяться в захищеному або виділеному приміщенні, високочастотним електромагнітним полем (високочастотне опромінення). У цьому випадку за наявності у складі ДТЗС елементів, що мають «мікрофонний» ефект, відбуватиметься модуляція перевипромінюваного електромагнітного сигналу за законом мовного сигналу. Для реалізації такого способу перехоплення інформації у складі технічного засобу

розвідки має бути високочастотний генератор електромагнітних хвиль із спрямованою антеною та високочутливий радіоприймач.

За аналогічною схемою (з використанням високочастотного опромінення) можливе перехоплення мовної інформації за допомогою заставного пристрою - ендовібратор. Ендовібратор являє собою об'ємний резонатор або коливальний контур, у складі якого є нелінійні елементи. Такими нелінійними елементами можуть виступати нелінійні резистори (наприклад, вугільний мікрофон), нелінійні ємності (конденсаторний мікрофон). Ця система має деяку резонансну частоту, що визначається статичними параметрами елементів, що її утворюють. Як навантаження для такої резонансної системи використовується антена, яка відіграє роль вторинного випромінювача електромагнітних хвиль. Дана система камуфлюється у вигляді будь-якого предмета (сувеніру, картини тощо) і встановлюється у виділеному приміщенні. Під впливом акустичного поля мовного сигналу нелінійні елементи або елементи об'ємного резонатора будуть незначно змінювати свої параметри («мікрофонний» ефект). Якщо ендовібратор опромінювати високочастотним електромагнітним полем на резонансній частоті ендовібратора перевипромінюваний сигнал буде промодульований по амплітуді та фазі акустичним сигналом. Енергія вторинного випромінювання залежить від геометричних розмірів та просторової орієнтації ендовібратора. Для реалізації такого способу перехоплення інформації у складі технічного засобу розвідки також має бути високочастотний генератор електромагнітних хвиль із спрямованою антеною та високочутливий радіоприймач. На рис. 1.11 показано принципову схему перехоплення мовної інформації за допомогою ендовібратора.

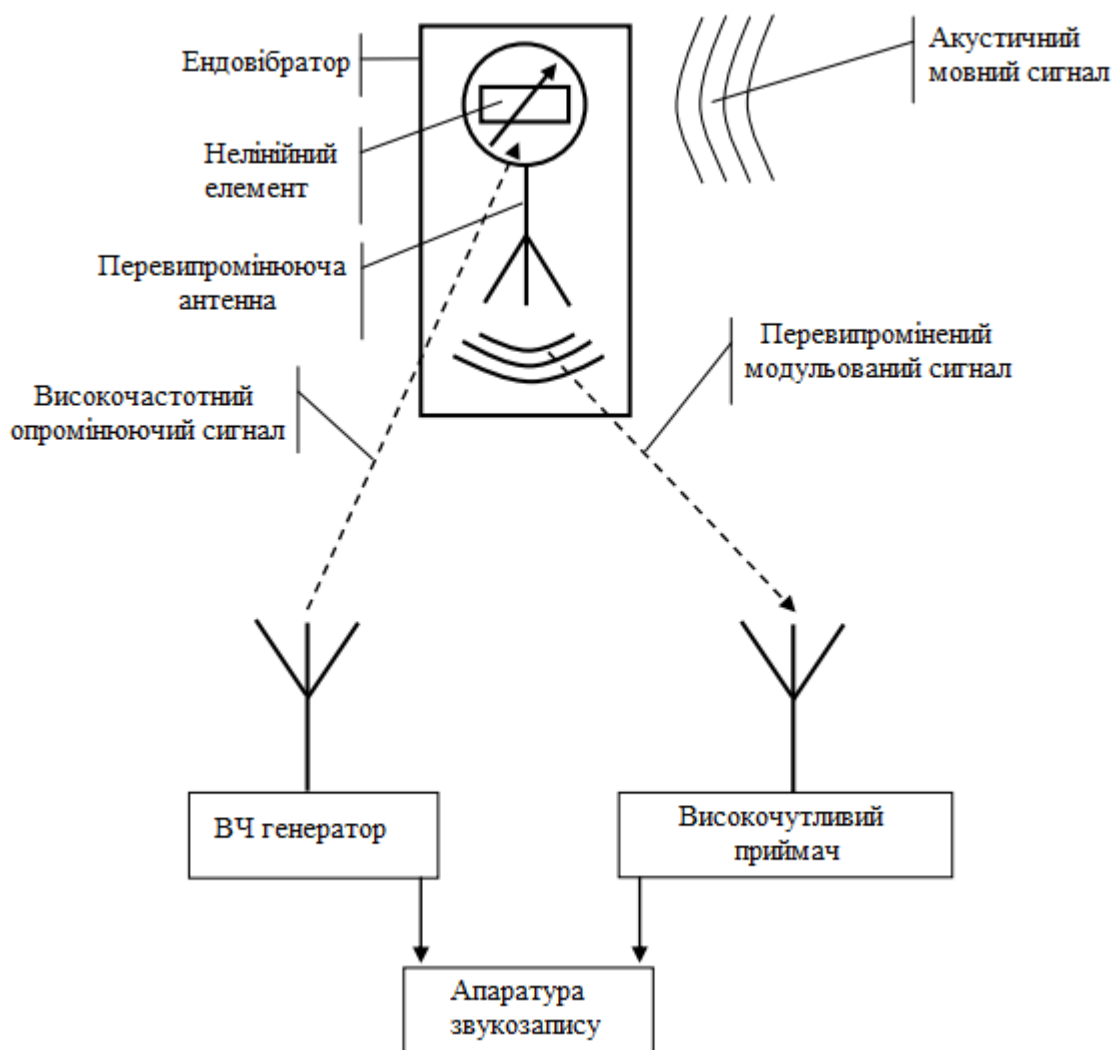


Рисунок 1.11 – Схема перехоплення мовної інформації за допомогою ендовібратора

Перевага ендовібратора полягає в тому, що у його складі відсутні джерела живлення та напівпровідникові елементи, тому такий заставний пристрій дуже важко виявити. А недоліком є те, що незначні зміни параметрів резонансної системи обумовлюють низький коефіцієнт модуляції перевипромінюваного сигналу і, як наслідок, потрібна збільшена потужність опромінювального впливу.

Ще один спосіб перехоплення мовної інформації із застосуванням високочастотного опромінення полягає у використанні заставного пристрою типу аудіотранспондера. Аудіотранспондери, на відміну від ендовібраторів, являються активними закладними пристроями та містять у своєму складі мікрофон (можливий виносний мікрофон) та підсилювач низької частоти. Мовний сигнал сприймається мікрофоном і подається на підсилювач низької частоти. Потім сигнал надходить на



нелінійний елемент резонансної системи, який під впливом цього сигналу змінює свої параметри і, як наслідок, змінюється резонансна частота самої системи. Як і у випадку ендовібратора, резонансна система аудіотранспондера навантажена на перевипромінюючу антену. Таким чином, якщо аудіотранспондер опромінювати високочастотним електромагнітним полем на його резонансній частоті, то перевипромінюваний сигнал буде промодульовано по амплітуді та фазі акустичним сигналом.

Основна перевага аудіотранспондерів – можливість досягнення більшого коефіцієнта модуляції перевипромінюваного сигналу, а також використання нав'язуючого високочастотного випромінювання меншої потужності. Вище були розглянуті принципові аспекти роботи аудіотранспондера, але більш досконалі технічні рішення дозволяють не тільки отримувати більший коефіцієнт модуляції, але й використовувати інші види модуляції, а також змінювати частоту несучої компоненти перевипромінюваного сигналу. Тобто більш досконалі аудіотранспондери являються закладними пристроями з керуючим зовнішнім впливом. Закладний пристрій стає активним тільки під впливом зовнішнього високочастотного опромінюючого електромагнітного поля. До недоліків аудіотранспондерів відносять можливість їх виявлення за допомогою локаторів нелінійності та систем радіомоніторингу.

Оптико-електронний канал[1, 5-7]. При перехопленні акустичної інформації даним каналом використовуються лазерні система акустичної розвідки (ЛСАР) або їх ще називають «лазерними мікрофонами».

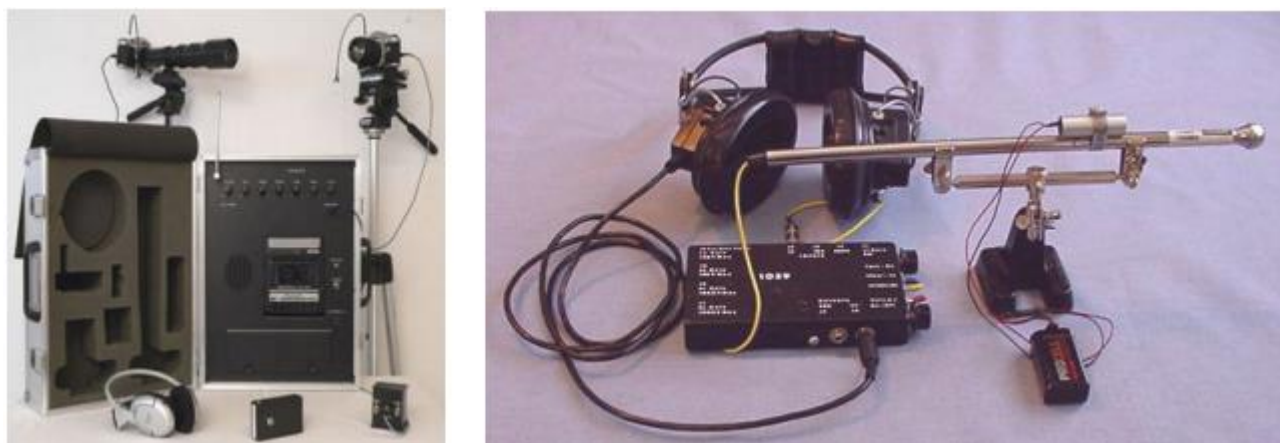


Рисунок 1.12 – Приклад ЛСАР

Принцип дії таких систем полягає в наступному [11, 12]: при веденні розмови акустичний сигнал, що поширюється в повітрі, впливає на різні тонкі відбиваючі поверхні (віконні скла, дзеркала тощо), змушуючи їх вібрувати з частотою, що дорівнює частоті акустичного сигналу, створюючи таким чином як би фонограму проведеної розмови. Лазерним передавачем, що входить до складу ЛСАР, генерується випромінювання - лазерний промінь, який, досягаючи віконного скла, відбивається від його поверхні і моделюється впливаючим на скло акустичним сигналом. Далі відбите лазерне випромінювання (відбитий промінь) приймається від спліттера чутливим приймачем лазерного випромінювання (детектором). Застосування спліттера (дільника пучка) дозволяє звести падаючий і відбитий промінь в одну точку. При демодуляції відбитого лазерного випромінювання виділяється початковий акустичний сигнал. Лазер та приймач утворюють складну лазерну акустичну локаційну систему («лазерний мікрофон»), що працює у ближньому інфрачервоному діапазоні хвиль. Реально лазер, спліттер і детектор можуть бути поєднані в одному пристрої.

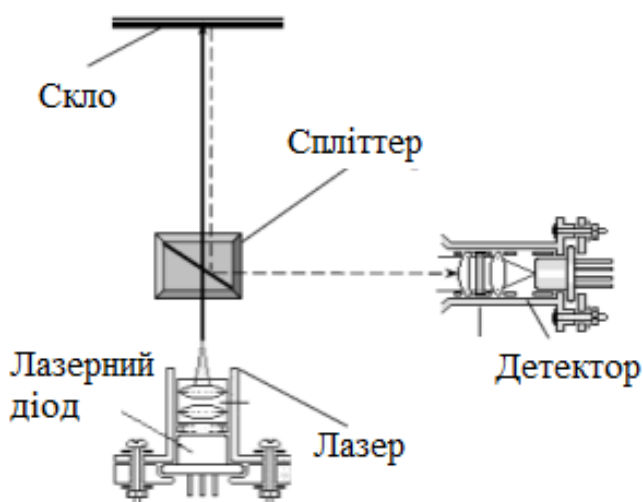


Рисунок 1.13 – Схема найпростішого лазерного мікрофона

Якість прийнятої інформації залежить від наступних факторів:

- параметрів використовуваного лазера (потужності, когерентності, довжини хвилі, т.д.);
- параметрів фотоприймача (чутливість та вибірковість фотодетектора, виду обробки прийнятого сигналу т.д.);
- параметрів атмосфери (розсіювання, поглинання, турбулентність, рівень фонового засвічення і т.д.);
- стан зондованої поверхні (шорсткість або нерівність, зумовлені як технологічними причинами, так і впливом середовища);
- рівня фонових та акустичних шумів;
- рівня якості перехопленого акустичного сигналу.

Фізичні принципи, що лежать в основі утворення даного каналу витоку інформації, можна представити у вигляді наступної схеми[12]: при використанні лазерного випромінювання для прослуховування розмов, що ведуться у виділених приміщеннях використовується лазерний пучок для сканування (в режимі відбивання) від поверхні скла (рис. 1.2), в ділянках якого відбуваються мікропереміщення, що супроводжуються поширенням акустичної хвилі.

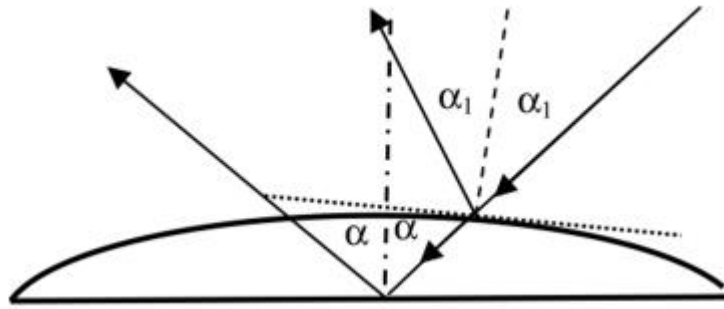


Рисунок 1.14 – Схема зміни умов відбивання лазерного променя на вібруючій поверхні

Розглянемо ймовірну послідовність перетворень інформації про звукове поле:

$$p(\Omega) \rightarrow \xi(\Omega) \rightarrow \phi(\Omega) \rightarrow R(\Omega) \rightarrow E_{\text{відб.}}(\Omega, \omega) \rightarrow I(\Omega, \omega) \rightarrow U(\Omega) \rightarrow P(\Omega)$$

Де  $\phi(\Omega)$  – кут падіння (відбивання) лазерного пучка;

$E_{\text{відб.}}(\Omega, \omega)$  – вектор напруги електричного поля відбитого пучка;

$\omega$  – кругова частота лазерного випромінювання;

$I(\Omega, \omega)$  – кругова частота лазерного випромінювання;

$U(\Omega)$  – змінна напруга звукової частоти;

$P(\Omega)$  – звуковий тиск на виході динаміка;

Лазерний пучок падає на поверхню скла. Плоска монохроматична хвиля акустичного поля приміщення викликає періодичні пружні деформації  $\xi(\Omega)$  поверхні скла. Через мікродеформації поверхні з частотою звуку змінюється кут падіння (відповідно і кут відбиття) скануючого лазерного пучка –  $\phi(\Omega)$ . Ця зміна породжує зміну коефіцієнтів Френеля  $R$ , які залежать від  $\phi(\Omega)$ , а, отже, і від кутової частоти коливань -  $\Omega$ . Далі внаслідок зміни коефіцієнтів Френеля відбувається зміна вектора напруженості електричного поля відбитого пучка -  $E_{\text{відб.}}(\Omega, \omega)$ . Зміна амплітуди вектора інтенсивності електричного поля в часі означає зміну інтенсивності відбитого пучка -  $I(\Omega, \omega)$ . Тому, зміна інтенсивності відбитого лазерного пучка за допомогою зміни амплітуди  $E_{\text{відб.}}(\Omega, \omega)$  містить інформацію про акустичне поле приміщення. Робота фотопомножувача пов'язана з його реакцією на

зміну вхідного потоку світла; тому у ньому утворюється змінна напруга звукової частоти -  $U(\Omega)$ . Далі змінна напруга звукової частоти перетворюється на звуковий тиск на виході динаміка -  $P(\Omega)$ .

Незважаючи на безперечні переваги даного класу обладнання, для перехоплення акустичної інформації, широке їх використання на практиці обмежується рядом факторів. Насамперед, це висока вартість подібних систем – від 10 до 100 тисяч доларів і вище. Очевидно, що такі витрати під силу лише дуже небагатьом суб'єктам, які займаються незаконним збором конфіденційної інформації. Крім того, для практичного застосування ЛСАР необхідні фахівці високого рівня, які мають не тільки практичні навички поводження з подібними системами, але й володіють тактикою їх застосування в різних умовах.

Запобігання знімання інформації за допомогою лазера полягає в наступному [11-14]:

- для створення протидії знімання інформації за допомогою лазера необхідно розробляти методи, що дозволяють зменшити до нуля  $R$  шляхом створення на склі спеціального шару покриття; таким чином, слід використовувати звукопоглинаючі матеріали та конструкції перед віконним склом у приміщенні (наприклад, пористі поглинаючі матеріали, але вони дають переважне поглинання в області високих частот ( $>1000$  Гц) і дуже неефективні в нижній частині частотного діапазону); краще звукопоглинання в приміщенні забезпечується, якщо мати ряд вузьких порт'єрів, ніж одну широку (при рівній загальній ширині); щоб створити поглинання в області низьких частот, може бути використана така конструкція поглинаючого матеріалу як резонансні поглиначі, одним з видів яких є мембранний поглинач - натягнуте полотно, що прикриває вікно; резонансні поглиначі ефективні області частот  $<1000$  Гц;

- протидіяти зніманню інформації за допомогою лазера можна простим та ефективним способом: достатньо перед початком важливої розмови відкрити на 1-2 см вікно; як наслідок, зміниться кут падіння лазерного променя, отже, і кут відбиття, тобто. людині з фотопомножувачем (зловмиснику) доводиться бігати по

даху або по поверху (перпендикулярна площину) або по поверхах (вертикальна площина), а якщо під час розмови кілька разів закривати та відкривати вікно, фактично цьому зломиснику буде неможливо оперативно змінювати місце прийому лазерного променя. Таким чином, можна уникнути зніманню інформації.

Електромагнітний канал [15 – 20]. Спектральний склад випромінювання електромагнітних хвиль дуже широкого інтервала частот. В основі утворення електромагнітних каналів витоку інформації виділених приміщень лежать побічні електромагнітні випромінювання і наведення, а також інформаційні процеси, пов'язані з використанням у структурі виділених приміщень різних радіоелектронних пристроїв (РЕП).

При визначенні характеристик даних РЕП як джерел побічних електромагнітних випромінювань, слід враховувати їх різноманітність та відмінності виконуваних ними функцій у складі виділеного приміщення.

Як джерела інформації в технічних каналах, радіоелектронні пристрої можуть розглядатись як:

- випромінювачі електромагнітних коливань;
- перетворювачі фізичних величин;
- джерела паразитних зв'язків та наведень на дроти та елементи у виділених приміщеннях.

Як випромінювачі побічних електромагнітних випромінювань вони поділяються за діапазоном частот на низькочастотні, високочастотні та оптичні.

Перетворювачі за видом перетворення можуть бути акустичними та електромагнітними.

Паразитні зв'язки та наведення в радіоелектронних пристроях можуть виявлятися у вигляді зворотних зв'язків та витоків по ланцюгах живлення та заземлення.

Різноманітність та різноманітність радіоелектронних пристроїв, їх розподіленість у складі виділених приміщень зумовлюють можливість використання зломисником різних фізичних середовищ та технічних засобів розвідки для перехоплення інформації.

У разі використання для перехоплення інформації побічних електромагнітних випромінювань радіоелектронного пристрою узагальнена структура технічного каналу витоку інформації даного типу матиме вигляд, представлений на (рис. 1.15)

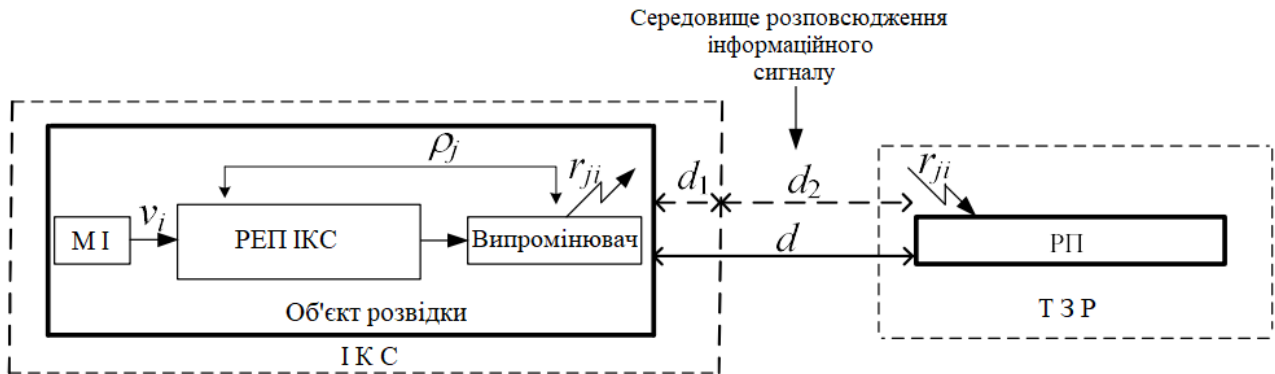


Рисунок 1.15 – Загальна структура технічного каналу витоку інформації по ПЕМВ

де

- МІ – масиви інформації, що передаються по каналах зв'язку;
- $v_i$  – інформаційне поле  $i$ -го масива інформації впливаючого на радіоелектронний пристрій,  $i = 1, 2, \dots, I$ ;
- $\rho_j$  –  $j$ -е радіоелектронного пристрою,  $j = 1, 2, \dots, J$ ;
- $r_{ji}$  – відгук  $j$ -го радіоелектронного пристрою у вигляді ПЕМВ на інформаційне поле впливаючого  $i$ -го масива інформації,  $j = 1, 2, \dots, J$ ;
- випромінювачі – з'єднувальні провідники між радіоелектронними пристроями, які виконують функції антен, забезпечуючи взаємодію з повітряним середовищем для поширення інформаційного сигналу.
- РП – розвідувальний приймач у складі технічного засобу розвідки, за допомогою якого здійснюється перехоплення випромінювання  $r_{ji}$  та вилучення з даного сигналу інформації;
- $d$  – відстань між радіоелектронним пристроєм та РП;
- $d_1$  – відстань, контрольована персоналом.

Під ОІД (об'єкт інформаційної діяльності) розуміється простір (наприклад, ВП), у межах якого виключено розміщення зловмисником будь-яких технічних засобів розвідки (ТЗР), або таке розміщення пов'язано з необхідністю проведення ним оперативно-технічних заходів;

-  $d_2$  – відстань за межами ОІД, контрольована зловмисником.

Як середовище поширення інформаційного сигналу в технічних канал витоку інформації ПЕМВ розглядається повітря.

На рисунку 1.16 приведено приклад автоматизованого комплексу вимірювання ПЕМВ:



Рисунок 1.16 – Автоматизований комплекс вимірювання ПЕМВ

Кожний радіоелектронний пристрій являється джерелом магнітних та електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Характер цих полів визначається видом масивів інформації, що передаються каналами зв'язку, реалізованими технічними і конструктивними рішеннями, а також елементною базою, що використовується в радіоелектронного пристрою.

Від характеру поля, що змінюється з відстанню  $d$ , залежить тип використаного для реалізації перехоплення ПЕМВ РП. В ближній зоні відстань  $d$  значно менша за довжину хвилі  $\lambda$  ПЕМВ ( $d \ll \lambda$ ) і поле має магнітний або



електричний характер, у дальній зоні ( $d \gg \lambda$ ) поле носить електромагнітний характер поширюючись у вигляді плоскої хвилі, енергія якої розподілена порівну між електричною та магнітною складовими.

У зв'язку з цим, усі електромагнітні випромінювачі поділяються на низькочастотні та високочастотні.

Джерелами низькочастотних (НЧ) ПЕМВ, як правило, являються різного типу звукопідсилювальні пристрої. Для їх перехоплення використовуються РП, які включають магнітну антену та селективний підсилювач звукових частот.

У складі ОІД джерелами небезпечного високочастотного (ВЧ) інформаційного сигналу є різного типу ВЧ-генератори, модулятори ВЧ-коливань, ЕОМ монітори, елементи, що володіють нелінійними характеристиками (діоди, транзистори, мікросхеми), підсилювачі та інші елементи, переведені в режим самозбудження при виникненні паразитного позитивного зворотного зв'язку.

Умови поширення електромагнітних коливань можуть бути описані відповідно до наступного виразу:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \mu_{\text{пер}} \cdot \mu_{\text{пр}} \cdot \frac{\lambda^2}{16\pi^2 \cdot d^2}$$

де  $P_{\text{пр}}$  – потужність ПЕМВ на вході РП;

$P_{\text{пер}}$  – потужність ПЕМВ на виході радіоелектронного пристрою, як випромінювача ПЕМВ;

$G_{\text{пер}}$  – коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени (для умов ПЕМВ  $G_{\text{пер}} = 1$ );

$G_{\text{пр}}$  – коефіцієнт спрямованої дії приймальної антени РП;

$\mu_{\text{пер}}$  – втрати в антенно-фідерному тракті радіоелектронного пристрою як випромінювача ПЕМВ;

$\mu_{\text{пр}}$  – втрати в антенно-фідерному тракті РП ТЗР;

$\lambda$  – довжина хвилі ПЕМВ радіоелектронного пристрою;

$d$  – відстань між радіоелектронного пристрою та РП.

В даних умовах, зловмисник з метою підвищення значення  $P_{\text{пр}}$  на вході РП, що визначає перевищення його середньої потужності над середньою потужністю завад  $g_c = P_{\text{пр}} / P_{\text{п}}$ , має можливість впливати на величини  $\mu_{\text{пр}}$  і  $d_2$  (частина відстані  $d$ ) шляхом застосування РП, що має відповідні електричні параметри ( $\Delta F_{\text{РП}}$  – смуга пропускання по частоті і  $G_{\text{пр}}$  – чутливість) у процесі реалізації відповідної стратегії ведення технічної розвідки (ТР).

Розглянемо стратегії перехоплення ПЕМВ при урахуванні декількох умов:

- Технічний канал витоку інформації утворюється при перевищенні значення  $g_c$  (перевищенні середньої потужності сигналу ПЕМВ над середньою потужністю завад).
- Діапазон частот ПЕМВ  $\Delta f_c$  розглядається при перевищенні потужності його частотних складових деякого критичного рівня.

В цьому контексті, стратегії зловмисника щодо перехоплення ПЕМВ радіоелектронного пристрою можна розділити на два типи:

- стратегії перехоплення НЧ ПЕМВ;
- стратегії перехоплення ВЧ ПЕМВ.

Стратегії першого типу характеризуються перехопленням вузькосмугових ПЕМВ ( $\Delta f_c \approx 3 - 5$  кГц) у ближній зоні, що містять, як правило, мовні повідомлення.

Дані стратегії не вимагають використання складних широкосмугових та високочутливих РП. Висока збитковість мовних повідомлень, пов'язана з особливостями розподілу частотних складових мовного сигналу по діапазону дозволяє забезпечувати задані зловмисником вимоги до властивостей перехопленої інформації. Особливістю реалізації стратегій такого типу є можливість застосування мобільних, і портативних РП в ближній зоні перехоплення ПЕМВ РЕП. Ця обставина зумовлює високу скритність ведення ТР.

Стратегії другого типу характеризуються перехопленням широкосмугових ПЕМВ ( $\Delta f_c > 250$  кГц) у дальній зоні, що містять високошвидкісні цифрові потоки інформації.

Ці стратегії вимагають застосування складних широкосмугових і високочутливих РП, як правило, у складі програмно-апаратних комплексів радіо- та радіотехнічного контролю. При цьому забезпечення заданих зловмисником вимог до властивостей інформації, що перехоплюється пов'язано з необхідністю обліку структури пакетів повідомлень. Особливості реалізації стратегій такого типу пов'язані з необхідністю застосування стаціонарних або возимих РП у складі програмно-апаратних комплексів радіо- та радіо технічного контролю у дальній зоні перехоплення ПЕМВ РЕП ОІД.

## **1.2 Методи та заходи протидії витоку мовної інформації технічними каналами**

На даний момент, актуальність захисту мовної інформації від витоків технічними каналами безперечна. Особливо це стосується обговорення інформації обмеженого доступу при проведенні нарад, переговорів і т.п.

Розрізняють пасивні та активні методи [7,10]. Пасивні методи спрямовані на зниження рівня інформативного сигналу за рахунок покращення звукоізоляції інженерних конструкцій та встановлення фільтруючих пристроїв у провідному зв'язку.

Пасивні методи спрямовані на [10]:

- згасання акустичних сигналів значенням, що забезпечують неможливість їх перехоплення за допомогою засобів акустичної розвідки на тлі природного шуму у місцях їх можливої установки;
- згасання інформаційних електричних сигналів у сполучних лініях ДТЗС, що виникають в результаті акустоелектричних перетворень акустичних сигналів, до значень, які унеможливають їх ізоляцію за допомогою розвідки на фоні природного шуму.

Активні методи засновані на підвищенні рівня шуму по відношенню до природного (фонового) і реалізуються з використанням технічних засобів, що ґрунтуються на різних шумах генераторів.

Активні методи спрямовані на [10]:

– створення маскувальних шумів, з метою зниження співвідношення сигнал/шуму до значень, що забезпечують неможливість ідентифікації мовної інформації за допомогою акустичної розвідки у місцях їх можливої установки, створення електромагнітних перешкод, що маскують, в сполучних лініях ДТЗС з метою зниження співвідношення сигнал/шуму до значень, що забезпечують неможливість ізоляції інформаційного сигналу за допомогою розвідки у можливих місцях їх з'єднання.

Захист мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами в Україні відбувається в відповідності до законодавчих [21–23] та нормативних документів і включає в себе три групи заходів:

- організаційні;
- організаційно-технічні;
- технічні.

Послідовність дій при організації захисту для запобігання витоку мовної інформації виділеного приміщення передбачає наступні етапи [4, 7, 10]:

1. Оцінюються наявність та реальні межі контрольованої зони об'єкта.
2. Проводиться огляд виділеного приміщення, визначаються типи та характеристики дверей, вікон, стін та перекриттів.
3. Визначається належність та режим доступу до будинків, вікна яких виходять на дане виділене приміщення, вимірюються відстані до них. Проводиться оцінка можливості перехоплення акустичної інформації з використанням спрямованих мікрофонів і акустичних лазерних систем розвідки з будівель, що знаходяться за межами контрольованої зони.
4. Визначаються місця паркування машин, куди виходять вікна виділеного приміщення, вимірюються відстані до них. Проводиться оцінка потенційної

можливості перехоплення акустичної інформації використовуючи спрямовані мікрофони та акустичні лазерні системи розвідки з машин, які припарковані за межами контрольованої зони.

5. Визначаються потенційні місця тривалого знаходження осіб поблизу контрольованої зони об'єкта (автобусні зупинки, лави для відпочинку тощо), вимірюються відстані до них. Проводиться оцінка потенційної можливості перехоплення акустичної інформації використовуючи спрямовані мікрофони прихованого носіння з місць можливого тривалого перебування осіб поблизу контрольованої зони об'єкта.

6. Визначаються місця можливого безконтрольного перебування сторонніх осіб у межах контрольованої зони об'єкта (сторонньою називається особа, котра за характером виконуваної роботи або службових обов'язків не має доступу до відомостей, які обговорюються у виділеному приміщенні). Оцінюється потенційна можливість ненавмисного прослуховування розмов у виділеному приміщенні сторонніми особами.

7. Визначаються приміщення суміжні з виділеним, встановлюється їх належність, призначення та режим доступу до них (за можливості проводиться їх огляд). Проводиться оцінка потенційної можливості перехоплення акустичної інформації з використанням електронних стетоскопів із суміжних приміщень.

8. Оцінюється характер інженерних комунікацій, визначаються інженерні комунікації, які знаходяться за межами контрольованої зони, та місця можливого доступу до них. Проводиться оцінка потенційної можливості перехоплення акустичної інформації з використанням електронних стетоскопів, що підключаються до інженерних комунікацій.

9. Визначається можливість доступу із зовнішнього боку до вікон та стін виділеного приміщення. Проводиться оцінка потенційної можливості перехоплення акустичної інформації за допомогою радіостетоскопів, встановлених із зовнішнього боку виділеного приміщення.

10. Визначаються допоміжні технічні засоби та системи (засоби контролю та управління доступом, засобами охоронної та пожежної сигналізації, телефонні

апарати тощо), з'єднувальні лінії що знаходяться за межами контрольованої зони, встановлюються місця можливого доступу до них. Проводиться оцінка потенційної можливості перехоплення акустичної інформації акустoeлектричними каналами.

11. Здійснюється перевірки наявності у виділеному приміщенні та справності засобів захисту інформації (систем віброакустичного маскування, засобів захисту телефонних апаратів тощо).

12. Проводиться аналіз організаційних заходів із захисту виділених приміщень від витоків акустичної інформації.

За результатами проведення спеціального обстеження виділеного приміщення робиться висновок про потенційну можливість перехоплення мовної інформації по прямих акустичних, акустовібраційних, акустооптичних та акустoeлектричних каналах. Визначаються засоби акустичної (мовної) розвідки, щодо яких необхідно здійснити контроль за виконанням норм захищеності інформації, та встановлюються місця їх можливого розміщення. Визначаються місця можливого знаходження сторонніх осіб, щодо яких необхідно здійснити контроль за виконанням норм захищеності інформації.

Система безпеки мовної інформації під час проведення переговорів і нарад у виділеному приміщенні передбачає застосування комплексу запропонованих способів розглянутих в таблиці 1.1., де наведено список засобів та способів перехоплення мовної інформації, а також заходів протидії для кожного із приведених технічних каналів [5,10]:

Таблиця 1.1

| Канал             | Засіб або спосіб перехоплення        | Заходи протидії   |
|-------------------|--------------------------------------|---|
| Прямий акустичний | Людське вухо (пряме підслуховування) | 1. Покращення звукоізоляції<br>2. Використання зашумлення   |
|                   | Диктофон                             | 1. Заходи по виявленню диктофонів<br>2. Використання блокаторів (подавлювачів) диктофонів і мобільних телефонів |

|                            |                             |   |
|----------------------------|-----------------------------|---|
|                            | Акустичні закладні пристрої | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Постановка радіоперешкод</li> <li>2. Використання інтерференційного методу подавлення підсилювача РЗП.</li> <li>3. Заходи по пошуку РЗП</li> </ol>  |
| Вібраційний                | Електронний стетоскоп       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Покращення звукоізоляції</li> <li>2. Використання вібраційних генераторів</li> </ol>  |
|                            | Радіостетоскоп              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Покращення звукоізоляції</li> <li>2. Використання вібраційних генераторів</li> <li>3. Постановка радіозавад</li> </ol>  |
| Пасивний акустоелектричний | Мікрофонний ефект           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відлучення джерел небезпечних сигналів</li> <li>2. Фільтрація небезпечних сигналів</li> <li>3. Обмеження небезпечних сигналів</li> <li>4. Використання буферних пристроїв</li> <li>5. Лінійне зашумлення</li> <li>6. Просторове зашумлення</li> </ol> |
| Активний акустоелектричний | Високочастотне нав'язування |   |

|                                    |  |   |
|------------------------------------|--|---|
| Пасивний<br>акустоелектромагнітний | Побічне електромагнітне випромінювання     | 1. Екранування приміщень<br>2. Екранування компонентів<br>Енергетична та неенергетична радіотехнічне радіомаскування (постановка шумової або загороджувальної завади) |
| Активний<br>акустоелектромагнітний | Високочастотне опромінення приміщення      |   |
| Акустооптичний<br>(лазерний)       | Лазерні системи акустичної розвідки (ЛСАР) | 1. Використання засобів збільшувачів амплітуду вібрацій тонких поверхонь  |

Таблиця 1.1 – Список засобів та способів перехоплення мовної інформації, а також заходів протидії для кожного із можливих каналів витоку інформації

### 1.3 Електромагнітне екранування, як спосіб захисту об'єктів інформатизації від витоків інформації по технічним каналам

Для забезпечення вимог по електромагнітній безпеці виділеного приміщення, що включає в себе протидію несанкціонованому доступу до інформації з використанням спеціальних технічних засобів, використовується екранування електромагнітних хвиль. Актуальність розробки високоефективних, широкопasmових, технологічних і зручних в експлуатації екрануючих і



радіопоглинаючих матеріалів пояснюється постійною потребою в даних матеріалах при захисті різного роду об'єктів інформатизації (виділених приміщень) так і при розробці та удосконаленні конструкцій радіоелектронних приладів, приладів захисту інформації і військової техніки. Спираючись на роботу [24] розглянемо дане питання.

Екрануванням називають локалізацію електромагнітної енергії у певному просторі за рахунок обмеження розповсюдження її усіма можливими способами. Даний процес характеризується розсіюванням, заломленням, відбиванням і поглинанням енергії електромагнітних полів. Розрізняють наступні види екранування:

- екранування електричного поля (поле в ближній зоні випромінювання від джерела еквівалентного електричному диполю)
- екранування магнітостатичного поля (поле в ближній зоні випромінювання від джерела, еквівалентного магнітному диполю – рамці зі струмом)
- екранування електромагнітного поля (поле в ближній і дальній зонах випромінювання від будь-яких інших електромагнітних джерел енергії)

При проектуванні екрануючих систем використовують теорію поля, при цьому вводять поняття «ефективність екранування» (ЕЕ), яке в подальшому використовують у якості основного критерія вибору екрануючих матеріалів і конструкцій екранів.

Головне завдання екрану – послаблення напруги електричного  $E$  або магнітного ( $H$ ) полів. Екрануючу дію екрану зробленого із немагнітного матеріалу у змінному електромагнітному полі визначають струми, що наводяться у площині екрану, а також магнітне поле, збуджене даними струмами. При екрануванні всередині блоків РЕА (радіоелектронна апаратура) внаслідок відносно невеликих відстаней між джерелами та приймачами завад мове йде, здебільшого, про екранування електро- та магнітостатичних полів.

Найбільший вплив на працездатність вузлів РЕА вказує магнітна складова електромагнітного поля з індукцією  $B$ . Коли магнітне поле з частотою  $f$  перетинає замкнутий контур площею  $S$ , то в контурі виникає ЕРС (електрорушійна сила).

$$|U| = 2\pi f S |B| \quad (1.1)$$

Розрахована за формулою (1.1) напруга являється напругою завади для чутливих елементів пристрою.

Якщо,  $|U| \geq U_{\pi}$  і нема можливості зменшити площу контура  $S$ , тоді потрібен електромагнітний екран, ефективність якого:

$$EE = 20 \lg \left( \frac{|U|}{U_{\pi}} \right) \quad (1.2)$$

Де  $EE$  – ефективність електромагнітного екрану;  $U$  – ЕРС, що виникає у замкнутому контурі;  $U_{\pi}$  – напруга завади.

Загалом, електромагнітні екрани можна класифікувати за трьома ознаками: типу поля завади, конструктивній формі та матеріалу конструкції стінок екрану.

#### Тип поля завади

По типу завади розглядають магнітостатичні, електричні та електромагнітні поля. Під завадою розуміють внутрішній або зовнішній вплив, в результаті якого відбувається спотворення інформації в процесі її обробки, перетворення, збереження або передачі. Область простору навколо умовного випромінювача електромагнітної завади розділяється на ближню ( $r \leq \lambda/2\pi$ ) і дальню ( $r > \lambda/2\pi$ ) зони, де  $r$  – відстань від випромінювача до екрана;  $\lambda$  - довжина хвилі завади.

#### Форма екрана.

Форма екрана впливає на ефективність екранування через залежність від неї величини характеристичного опору середовища. До того ж, форма екрана впливає на значення частоти на якій відбувається різке збільшення магнітного і електричного поля всередині екрану, а значить на його резонансні властивості. Виділять прямокутну, циліндричну і сферичну форми екранів. Ефективність екранування електромагнітного поля прямокутного, циліндричного і сферичного екранів виражається наступним приблизним співвідношенням:

$$EE_{\pi} = EE_{\pi} + 3,6 \text{ дБ} = EE_c + 9.6 \text{ дБ}$$

Де  $EE_{\pi}$  - ефективність екранування електромагнітного поля прямокутного екрану;  $EE_{\pi}$  – ефективність екранування електромагнітного поля циліндричного екрана;  $EE_c$  – ефективність екранування електромагнітного поля сферичного екрана.

Найкраще співвідношення хвильових опорів простору і екрана має плоска хвиля, внаслідок чого виникає більше відбивання хвилі. Дана обставина обумовлює перевагу циліндричного екрану по відношенню до сферичного і, в свою чергу, прямокутного по відношенню до обох даних конструкцій.

Зворотна закономірність справедлива і для магнітних екранів. В даному випадку, має місце наступна залежність між ефективністю згасання прямокутного, циліндричного і сферичного екранів:

$$EE_{\pi} = EE_{\pi} + 3,6 \text{ дБ} = EE_c + 9.6 \text{ дБ}$$

Цьому є і фізичне пояснення. Дія магнітостатичних екранів відбувається по принципу замикання магнітного потоку в магнітній масі екрана. Екрануючий ефект зростає зі зменшенням опору екрана даному потоку. В порівнянні з прямокутним екраном, більш точно даній вимозі відповідає конструкція у вигляді шара або циліндра.

Матеріал і конструкція екрану.

Матеріал стінки екрану найбільш впливає на ефективність екранування. За матеріалом і конструкцією стінок виділяють магнітні та немагнітні метали, а також фольговані, сіткові, радіопоглинаючі матеріали та багатошарові екрани. Величиною, що характеризує екрануючу дію матеріалу екрана являється глибина проникнення  $\delta$  (на такій глибині напруга електричного поля зменшується в  $e$  разів) [9]:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

Де  $\omega = 2\pi f$  – кутова частота;  $f$  – частота, Гц;  $\sigma$  – провідність,  $\text{См} \cdot \text{см}^{-1}$ ;  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ ;

$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-8} \text{ Г} \cdot \text{см}^{-1}$  – магнітна стала;  $\mu_r$  – відносна магнітна проникність

Якщо екран працює в магнітному полі ближньої зони, ефективність екранування для магнітних матеріалів у порівнянні з немагнітними значно вище, так як  $\mu_r \gg 1$ . В електромагнітному полі дальньої зони, немагнітні матеріали, внаслідок їх більшої провідності являються більш ефективнішими, ніж магнітні.

Теоретично, вирішення задачі екранування, визначення значень напруги полів надзвичайно важко, тому відштовхуючись від конкретної задачі доцільно розглядати його окремі види: електромагнітне, магнітостатичне та електричне.

Екранування електричних полів.

Електрична складова електромагнітного поля має місце в ближній зоні випромінювання при протіканні малих струмів та при великих напругах функціональних вузлів ТЗОІ, яка розглядається як зв'язок через малу паразитну ємність  $C_{CB}$  між джерелами та приймачами наведень, ефективність її екранування визначається наступним співвідношенням:

$$A = 20 \lg \frac{U_p}{U_{p.3}} = 20 \lg \frac{C_{CB}}{C'_{CB}}$$

Таким чином, знижуючи  $C_{CB}$  тим самим збільшуємо і ЕЕ.

Розглянемо основні рекомендації, стосовно використання електричних екранів:

1. Замикання силових ліній електричного поля не повинно виходити за межі конструкції екрану.
2. При роботі на низьких частотах, ключове значення з точки зору ЕЕ має якість контакту екрану та корпусу пристрою, товщина екрана та його матеріалу практично не мають значення.
3. При роботі на високих частотах, в режимі електромагнітного поля, ключове значення з точки зору ЕЕ мають властивості матеріалу екрану (магнітна проникність, електрична провідність) та його товщина.

Екранування низькочастотних магнітних полів (магнітостатичне екранування).

Екрани виготовляють із феромагнітних матеріалів (наприклад, пермалой або сталь), що мають велику відносну магнітну проникність  $\mu_r$ . Внаслідок значної розбіжності між  $\mu_r$  екрану та  $\mu_r$  внутрішнього середовища, силові лінії магнітного поля будуть проходити вздовж стінок екрану, котрі мають значно менший опір ніж опір повітря. ЕЕ магнітного поля залежить від  $\mu_r$  екрану (опір магнітопроводу) та його товщини і визначається наступним виразом:

$$A = 20 \lg \left( \frac{\mu S_1 + S_2}{S} \right)$$

Де  $\mu$  – відносна магнітна проникність матеріала екрана;

$$S = S_1 + S_2$$

Даний вид екранування застосовується при подавленні наведень в діапазоні частот 1-10 кГц. Розглянемо основні рекомендації, щодо використання магністатичного екрану:

1. Матеріал екрану повинен мати високе значення  $\mu_r$
2. Чим більше значення товщини екрану тим більша ефективність його екранування.
3. Ефективність екранування низькочастотних магнітних полів від заземлення не залежить.

Екранування високочастотних магнітних полів.

Екранування магнітного поля обумовлено в першу чергу компенсацією даного поля магнітним полем вихрових струмів, а також послабленням магнітного поля при проникненні в глибину матеріалу стінок екрана. Чим вище частота магнітного поля, тим менша глибина проникнення. До тих пір поки товщина стінок екрана менше глибини проникнення (для низьких частот), основну роль грає компенсація поля. Зі збільшенням частоти, коли товщина стінок екрана стає більше глибини проникнення, вирішальним фактором може стати ослаблення поля при проникненні його в товщину стінок екрана. Так як з ростом частоти магнітного поля глибина проникнення зменшується, то зменшується і магнітопровідність екрана, яка залежить від габаритних розмірів і магнітної проникності матеріала

екрана. В даних умовах, в наслідок суттєвого зменшення еквівалентної товщини стінок екрана, не проявляється явище шунтування магнітного поля. Тому, для забезпечення екранування на високих частотах, в якості матеріала екранів часто застосовують немагнітні матеріали.

Ефективність екранування магнітних полів на високих частотах визначається втратами визваними вихровими струмами в матеріалі екрана за рахунок їх поглинання, відбивання або компенсації. Під дією високочастотного магнітного поля, діють два фактори визвані вихровими струмами: зворотне поле екрана та поверхневий ефект його матеріалу. При відносно великому значенні товщині матеріалу екрана, при  $\delta_{\text{екр}} > \delta$  діють обидва фактори і ЕЕ можна визначити по приблизній залежності:

$$E \approx e^{\delta_{\text{екр}}/\delta} \left( \frac{1}{2} + \frac{D}{2,8t\mu\delta} \right)$$

На низьких частотах, при  $\delta_{\text{екр}} < \delta$ , спостерігається незначений поверхневий ефект і діє тільки перший фактор, ефективність розраховують за допомогою наступного рівняння:

$$E \approx \sqrt{1 + \left( \frac{\omega\mu_0\sigma D\delta_{\text{екр}}^2}{2t} \right)}$$

Екранування електромагнітних полів.

Слід відрізнити екранування електромагнітних полів від магнітного екранування, яке відносять до екранування магнітних полів на низьких частотах (наприклад, 60 Гц). Матеріали для екрана для електромагнітних полів відрізняються від магнітних. Екранування відбувається завдяки відбиванню електромагнітної хвилі від металевої поверхні екрана і подальшому загасанню заломленої хвилі у тілі екрана. Основним механізмом захисту від електромагнітних завад являється відбивання. Відбивання обумовлюється невідповідністю електромагнітного середовища, в якому розповсюджується електромагнітна енергія з матеріалом екрана. На рисунку 1, показаний загальний механізм захисту від ЕМП (електромагнітного поля) за допомогою плоского екрану:

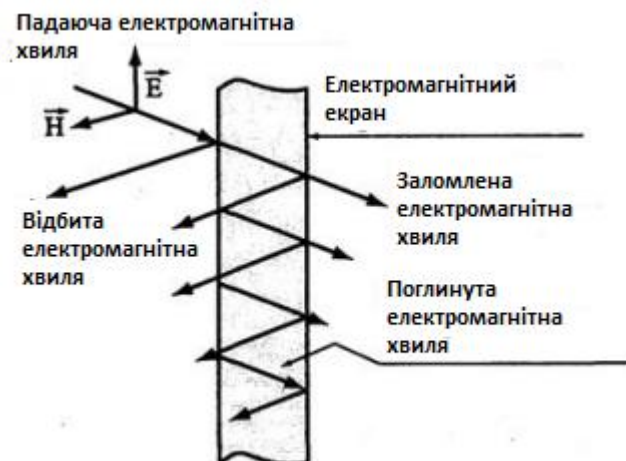


Рисунок 1.17 – Екранування ЕМП плоским екраном

Загалом, взаємодію електромагнітної хвилі з екраном можна представити наступним чином: відбиття хвилі від поверхні екрану, часткове проникнення хвилі в стінку екрану з її подальшим поглинанням матеріалом екрану за рахунок багатократного відбивання від його стінок в результаті відбувається часткове проникнення хвилі в область екранування. Якщо втрата енергії хвилі в екрані, тобто її поглинання, перевищує 10 дБ, то хвилями, що пройшли за екран після внутрішніх відбивань можна знехтувати (практичне значення мають тільки два перші відбивання).

Металеві екрани відрізняються високою ефективністю роботи на радіочастотах, які збільшується при збільшенні частоти електромагнітного випромінювання, що падає, однак вони мають один істотний недолік, пов'язаний з їх високою електропровідністю: високим коефіцієнтом відбиття, зумовленим великою відмінністю хвильового опору вільного простору та екрану.

Іншим механізмом захисту від електромагнітних завад являється поглинання. Для значного поглинання випромінювання екран повинен мати електричні та/або магнітні диполі, що взаємодіють із електромагнітними полями у випромінюванні. Такі диполі можуть бути представлені матеріалами, що мають високу діелектричну проникність. Магнітні диполі можуть бути представлені матеріалами, що мають високе значення магнітної проникності. На низьких частотах ефективність екранування тим вища, чим вище значення магнітної проникності матеріалу екрану. Однак, з урахуванням того, що залежність втрат при поглинанні прямо

пропорційна значенням товщини екрану та частоти електромагнітного поля, доводиться збільшувати товщину екрану. Зі зростанням частоти, магнітна проникність всіх матеріалів швидко зменшується при чому – чим більше значення магнітної проникності, тим значніше її зменшення. Тому, матеріали з великим значенням початкової магнітної проникності доцільно використовувати для частот близько 1 кГц. При більших значеннях напруженості магнітного поля через насичення матеріалу феромагнетика його магнітна проникність падає тим різкіше, чим більше початкове значення проникності. Електромагнітне випромінювання на високих частотах проникає лише поблизу поверхневої області електричного провідника. Об’ємна щільність струму максимальна біля поверхні провідника. При віддаленні від поверхні вона зменшується експоненційно і на глибині  $\delta$  стає менше в кілька разів. Дану глибину проникнення можна розрахувати за наступною формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\frac{1}{\pi f\mu\sigma}} \quad (1.3)$$

Виходячи із вищесказаного, ефективність екранування електромагнітного поля може бути представлена формулою:

$$EE = E_{\text{пад}} / E_2 = H_{\text{пад}} / H_2 = e^{\frac{\delta_{\text{екр}}}{\delta}} Z_{c \text{ пов}} / 4Z_{c \text{ мет}}, \quad (1.4)$$

де  $Z_{c \text{ пов.}} = 377 \text{ Ом}$  – характеристичний опір вакууму (і повітря), глибина проникнення розраховується за формулою (3), характеристичний опір матеріалу екрана розраховується за формулою:

$$Z_{c \text{ мет}} = \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} = \sqrt{\frac{2\pi f\mu}{\sigma}} \quad (1.5)$$

Базуючись на формулах (1.3), (1.4), (1.5) проведений розрахунок  $EE$  (ефективність екранування) та глибини проникнення електромагнітного поля для магнітних та немагнітних матеріалів на заданих частотах при різній провідності та різних значеннях товщини стінок екрану:



Таблиця 1.2

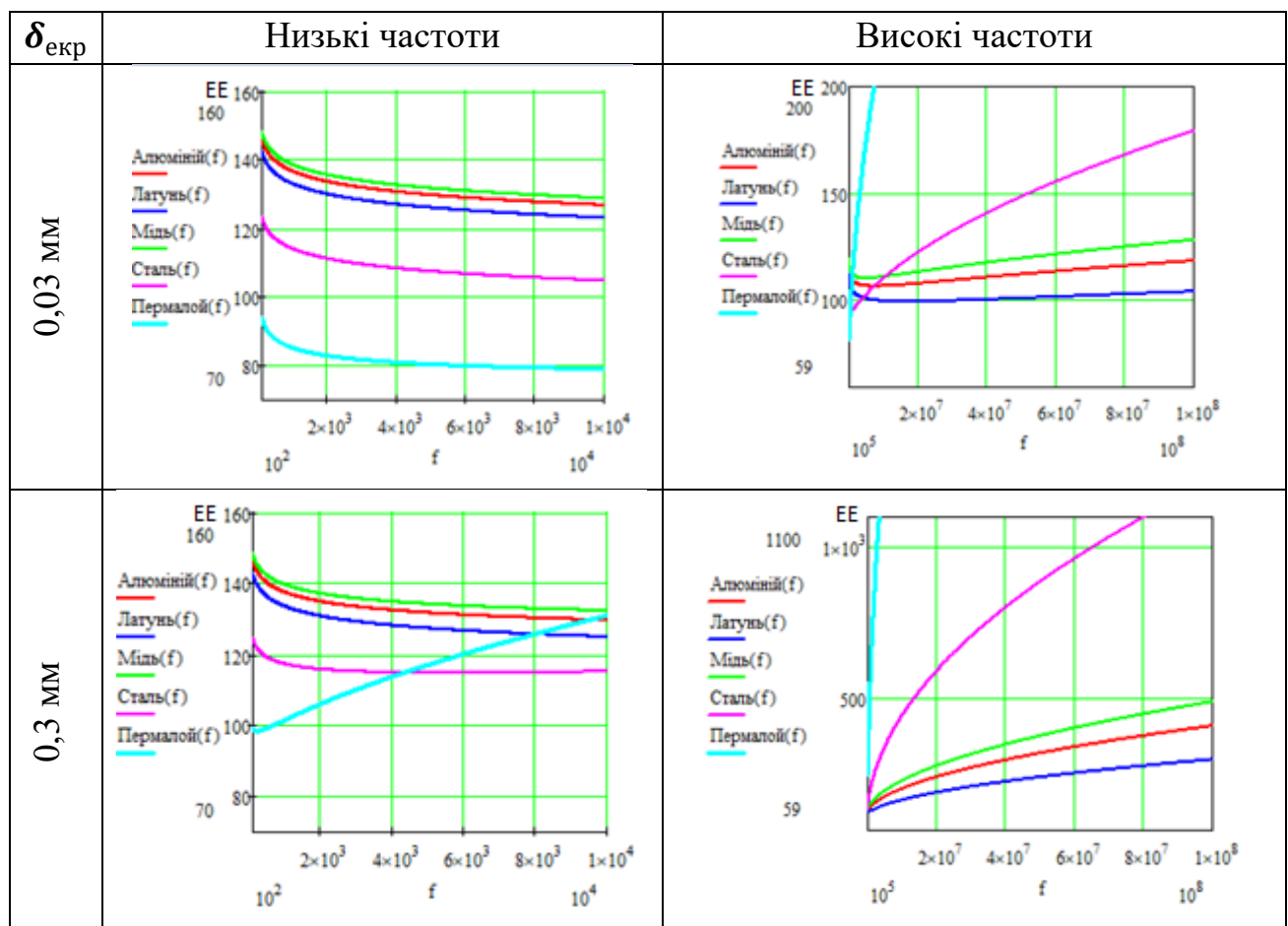
| $f$ ,<br>Гц                             | $\delta_{\text{екр}}$ ,<br>мм | ЕЕ  |                |   |                |   |                |   |                 |   |                   |
|---|-------------------------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|---|-----------------|---|-------------------|
|   |                               | Алюміній  |                | Латунь  |                | Мідь  |                | Сталь   |                 | Пермалой  |                   |
|   |                               | $\sigma = 38$<br>$\cdot 10^4$<br>См·<br>см <sup>3</sup> | $\mu_r$<br>= 1 | $\sigma = 16.6$<br>$\cdot 10^4$<br>См·<br>см <sup>3</sup> | $\mu_r$<br>= 1 | $\sigma = 59$<br>$\cdot 10^4$<br>См·<br>см <sup>3</sup> | $\mu_r$<br>= 1 | $\sigma = 10$<br>$\cdot 10^4$<br>См·<br>см <sup>3</sup> | $\mu_r$<br>= 50 | $\sigma = 1.54$<br>$\cdot 10^4$<br>См·<br>см <sup>3</sup> | $\mu_r$<br>= 8000 |
| $10^2$                                  | 0.03                          | 146   |                | 143   |                | 148   |                | 124   |                 | 94  |                   |
|   | 0.3                           | 147   |                | 143   |                | 148   |                | 125   |                 | 99  |                   |
|   | 1.0                           | 147   |                | 143   |                | 150   |                | 127   |                 | 113   |                   |
|   | 2,0                           | 148   |                | 144   |                | 151   |                | 131   |                 | 132   |                   |
| Глибина<br>проникнення $\delta$ ,<br>мм |                               | 8.170   |                | 12.350  |                | 6.550   |                | 2.250   |                 | 0.450   |                   |
| $10^3$                                  | 0.03                          | 136   |                | 133   |                | 138   |                | 114   |                 | 85  |                   |
|   | 0.3                           | 137   |                | 133   |                | 139   |                | 117   |                 | 102   |                   |
|   | 1.0                           | 140   |                | 135   |                | 142   |                | 126   |                 | 144   |                   |
|   | 2,0                           | 143   |                | 137   |                | 147   |                | 138   |                 | 204   |                   |
| Глибина<br>проникнення $\delta$ ,<br>мм |                               | 2.600   |                | 3.900   |                | 2.070   |                | 0.710   |                 | 0.140   |                   |
| $10^4$                                  | 0.03                          | 127   |                | 123   |                | 128   |                | 105   |                 | 79  |                   |
|   | 0.3                           | 130   |                | 125   |                | 132   |                | 115   |                 | 131   |                   |
|   | 1.0                           | 137   |                | 130   |                | 141   |                | 142   |                 | 265   |                   |
|   | 2,0                           | 148   |                | 137   |                | 155   |                | 181   |                 | 456   |                   |
| Глибина<br>проникнення $\delta$ ,<br>мм |                               | 0.820   |                | 1.230   |                | 0.655   |                | 0.225   |                 | 0.045   |                   |
| $10^5$                                  | 0.03                          | 117   |                | 113   |                | 119   |                | 97  |                 | 82  |                   |
|   | 0.3                           | 126   |                | 119   |                | 131   |                | 130   |                 | 245   |                   |
|   | 1.0                           | 150   |                | 135   |                | 160   |                | 216   |                 | 669   |                   |
|   | 2,0                           | 184   |                | 157   |                | 202   |                | 338   |                 | 1275  |                   |
| Глибина<br>проникнення $\delta$ ,<br>мм |                               | 0.260   |                | 0.390   |                | 0.207   |                | 0.071   |                 | 0.014   |                   |
| $10^6$                                  | 0.03                          | 110   |                | 105   |                | 112   |                | 95  |                 | 111   |                   |
|   | 0.3                           | 138   |                | 124   |                | 148   |                | 199   |                 | 628   |                   |
|   | 1.0                           | 213   |                | 173   |                | 241   |                | 469   |                 | 1968  |                   |
|   | 2,0                           | 319   |                | 243   |                | 373   |                | 855   |                 | 3884  |                   |
| Глибина<br>проникнення $\delta$ ,<br>мм |                               | 0.082   |                | 0.124   |                | 0.066   |                | 0.023   |                 | 0.004   |                   |
|   | 0.03                          | 106   |                | 99  |                | 111   |                | 110   |                 | 225   |                   |
|   | 0.3                           | 197   |                | 159   |                | 224   |                | 440   |                 | 1860  |                   |

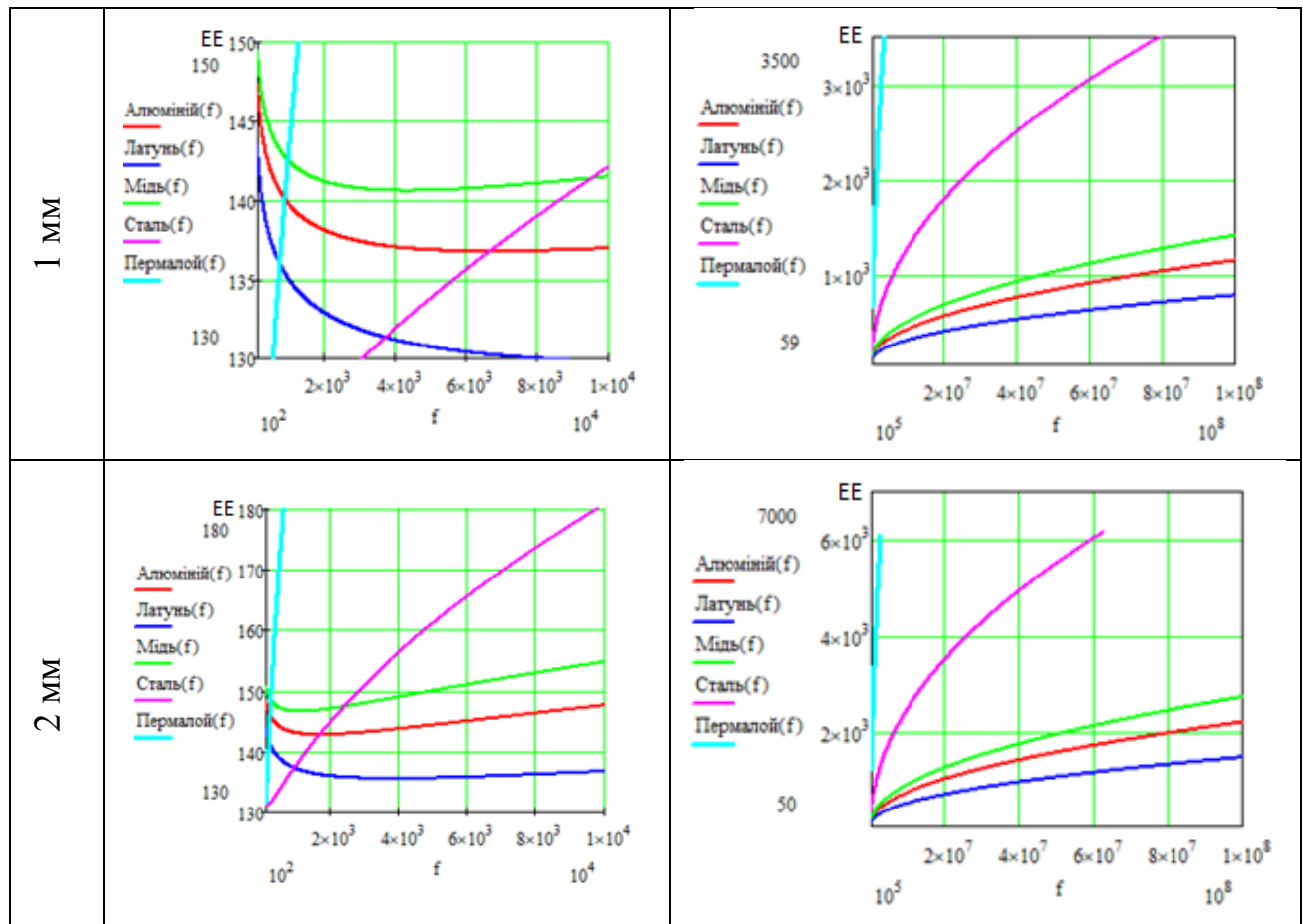
|                                   |      |       |       |       |       |        |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $10^7$                            | 1.0  | 433   | 315   | 517   | 1294  | 6099   |
|                                   | 2.0  | 769   | 537   | 936   | 2514  | —      |
| Глибина проникнення $\delta$ , мм |      | 0.026 | 0.039 | 0.021 | 0.007 | 0.001  |
| $10^8$                            | 0.03 | 118   | 104   | 128   | 179   | 608    |
|                                   | 0.3  | 405   | 294   | 486   | 1221  | 5779   |
|                                   | 1.0  | 1150  | 786   | 1414  | 3922  | —      |
|                                   | 2.0  | 2213  | 1489  | 2739  | —     | —      |
| Глибина проникнення $\delta$ , мм |      | 0.008 | 0.012 | 0.006 | 0.002 | 0.0004 |

Таблиця 1.2 – Розрахунок ЕЕ та глибини проникнення електромагнітного поля для магнітних та немагнітних матеріалів на заданих частотах при різних значеннях провідності та товщини стінок екрану

Таблиця 1.3

Частотні залежності ЕЕ при різних значеннях товщин екрану:





Таблиця 1.3 – Графіки частотних залежностей таблиці 1.2 при різних значеннях товщини екрану

Залежності глибини проникнення електромагнітного поля від частоти для матеріалів, які часто використовуються при виготовленні екранів, приведені на рис. 1.18:

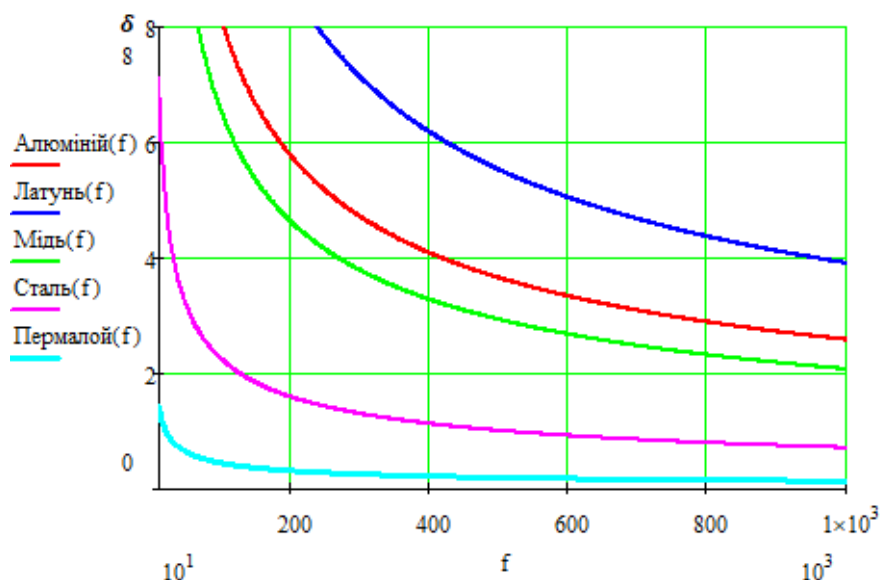


Рисунок 1.18 – Частотна залежність глибини проникнення електромагнітного поля для різних матеріалів

Таким чином, у випадку екранування на високих частотах, необхідно вибирати матеріали з високою провідністю, а на низьких – з високою проникністю. Для екранування постійного магнітного поля використовуються магнітно-м'які матеріали, такі як пермалой, альсифер, трансформаторна або електротехнічна сталь, тощо. Для екранування височастотного електромагнітного поля використовуються матеріали з високою провідністю: срібло, мідь, алюміній, латунь тощо. Ефективність екранування в найбільший мірі залежить від стінок екрану. Крім того, метали і сплави з високою провідністю, за виключенням сталі, не підходять для екранування постійних магнітних полів, тому що мають магнітну проникність рівну одиниці (як у повітря). Також, для того, що здійснювати ефективне екранування в широкому діапазоні частот краще використовувати багат шарові матеріали, наприклад сталь з нанесеним шаром провідного металу. Для отримання ще більшого коефіцієнта екранування можна застосовувати комбіновані багат шарові матеріали.

## 1.4 Словесна розбірливість мовної інформації

Особливістю акустичної розвідки являється те що, безпосередній аналіз перехопленої за допомогою засобів акустичної розвідки інформації виконується людиною.

Тому, в якості показника для оцінки захисту ВП від витоків акустичної інформації технічними каналами виступає словесна розбірливість  $W_c$  [25-27]. Під нею розуміється виражена у відсотках кількість правильно прийнятих із перехопленої розмови слів, зрозумілих людиною. Ефективність захисту мовної інформації в цілому залежить від цілей, які переслідується при організації захисту приміщення, наприклад: приховати предмет ведення переговорів, їх суть, чи сам факт їх проведення. Розглянемо приблизну шкалу оцінки перехопленого мовного повідомлення [26]:

- Перехоплене повідомлення містить деяку кількість зрозумілих слів достатніх для детального розуміння суті повідомлення.
- Перехоплене повідомлення містить деяку кількість зрозумілих слів достатніх лише для поверхневого розуміння суті, предмету та мети розмови.
- Перехоплене повідомлення містить деяку кількість зрозумілих слів достатніх лише для розуміння предмету розмови.
- Перехоплене повідомлення містить деяку кількість зрозумілих слів достатніх для фіксації факту наявності розмови, але не достатніх для розуміння предмету розмови.
- Перехоплене повідомлення не дозволяє встановити факт проведення розмови.

На практиці, для детального розуміння суті розмови словесна розбірливість повинна складати більше 70-80%, а для поверхневого розуміння більше 40-60%. 20-40% словесної розбірливості дозволяє встановити приблизний предмету переговорів, а при 10-20% словесної розбірливості це взагалі неможливо. Якщо ж значення словесної розбірливості менше 10%, то важко встановити навіть ознаки мови. Крім того, при захисті виділених приміщень необхідно враховувати як

перехоплення інформації за допомогою засобів акустичної розвідки так і можливість ненавмисного прослуховування. При перехопленні акустичної інформації засобами технічної розвідки можливий запис розмови для її подальшого аналізу шляхом багаторазового прослуховування, що неможливо при ненавмисному прослуховуванні. Тому з урахуванням цілей, які переслідуються при організації захисту виділених приміщень, доцільно запровадити наступні критерії ефективності їхнього захисту (таблиця 1.4) [26, 27]:

Таблиця 1.4

| Мета захисту                                | Потенційні канали витоку інформації   | Критерії захисту    |
|---|---|---------------------|
| Приховування факту ведення переговорів у ВП | Прямий акустичний, акустовібраційний, акустооптичний, акустоелектричний           | $W_{\Pi} \leq 10\%$ |
| Приховування предмету переговорів у ВП      | Прямий акустичний, акустовібраційний, акустооптичний, акустоелектричний           | $W_{\Pi} \leq 20\%$ |
| Приховування змісту переговорів у ВП        | Прямий акустичний, акустовібраційний, акустооптичний, акустоелектричний           | $W_{\Pi} \leq 30\%$ |
| Приховування змісту переговорів у ВП        | Прямий акустичний без використання технічних засобів (ненавмисне прослуховування) | $W_{\Pi} \leq 40\%$ |

Таблиця 1.4 – Критерії ефективності захисту ВП

Для оцінки розбірливості мови в основному використовують розрахунковий та інструментально-розрахунковий методи. Розрахунковий метод використовується, як правило, на стадії попереднього спеціального обстеження виділеного приміщення для визначення потенційних каналів витоку акустичної інформації без застосування вимірювальних засобів. Інструментально-розрахунковий метод застосовується при проведенні атестації виділених приміщень за вимогами безпеки інформації та відрізняється від розрахункового тим, що ряд вихідних даних для розрахунку розбірливості мови отримують шляхом проведення вимірювань використовуючи контрольно-вимірювальну апаратуру [10].

Контроль ефективності захисту виділеного приміщення від витоків акустичної інформації при використанні інструментально-розрахункового методу проводиться в наступній послідовності [10]:

1. Проводиться спеціальне обстеження виділеного приміщення.
2. Визначаються вид мовлення та інтегральний рівень голосового сигналу.
3. Здійснюється вибір апаратури для контролю та методів проведення вимірювань.
4. Проводяться розрахунок словесної розбірливості при ненавмисному прослуховуванні та перехопленні акустичної інформації засобами технічної розвідки.
5. Проводяться віброакустичні вимірювання та розрахунок словесної розбірливості мови при перехопленні інформації електронними стетоскопами та лазерними засобами акустичної розвідки.
6. Проводиться контроль допоміжних технічних засобів на можливість виникнення в них акустоелектричних перетворень.
7. Оформляється протокол контролю ефективності захисту виділених приміщень від витоків мовної інформації.

Якщо розраховане значення словесної розбірливості мови не перевищує встановленого нормованого значення, то вважається, що перехоплення переговорів у виділеному приміщенні технічними засобами акустичної розвідки неможливо.

Якщо розраховане значення словесної розбірливості мови вище встановленого нормованого значення, то в такому випадку необхідно вживати заходів щодо захисту виділеного приміщення від витоку акустичної мовної інформації.

## **Висновки до розділу 1**

1. Проведений огляд технічних каналів витоку інформації виділеного приміщення, засобів розвідки, за допомогою яких ведеться перехоплення інформації по даним каналам. Серед розглянутих каналів: прямий акустичний, акустовібраційний, акустоелектричний, оптико-електронний та електромагнітний. Особливу увагу в роботі приділено прямому акустичному, оптико-електронному та радіоелектронному каналам.

2. Розглянуті методи захисту мовної інформації від витоку через акустичні канали, приведена послідовність заходів при організації захисту від її витоків із виділеного приміщення технічними каналами, наведений список засобів та способів перехоплення мовної інформації, а також заходів протидії для кожного із приведених технічних каналів.

3. Для забезпечення вимог по електромагнітній безпеці виділеного приміщення було розглянуто екранування електромагнітних хвиль. Досліджені основні положення і залежності екранування електричних, магнітних та електромагнітних екранів, визначені вимоги до електричних та магнітостатичних екранів. Показаний розрахунок ефективності екранування магнітних та немагнітних матеріалів на заданих частотах при різних значеннях провідності та товщини стінок екрану. Розглянуті рекомендації щодо вибору матеріалів для екранування магнітного та електромагнітного поля, питання ефективності екранування.

4. Розглянутий показник словесної розбірливості для оцінки захисту виділеного приміщення від витоків акустичної інформації, приблизну шкалу оцінки перехопленого мовного повідомлення, критерії ефективності захисту виділених приміщень з точки зору показника словесної розбірливості, розрахунковий та інструментально-розрахунковий методи оцінки розбірливості



мови, а також послідовність при здійсненні контролю ефективності захисту виділеного приміщення від витоків акустичної інформації при використанні інструментально-розрахункового методу.

## РОЗДІЛ 2.

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ

#### 2.1 Математична модель акустичного каналу витоку мовної інформації

Розглянемо існуючу математичну модель акустичного каналу витоку мовної інформації [28-35]. Математична модель встановлює функціоналу залежність розбірливості мови від характеристик сигнально-завадової обстановки в каналі. Для забезпечення адекватності фізичних процесів протікаючих в каналі, математична модель представлена у вигляді сукупності чотирьох взаємозв'язаних моделей, достатньо точно описуючих акустичний сигнал, який створюється джерелом мови, акустичні навмисні перешкоди і природні шуми, вплив неоднорідного середовища розповсюдження і можливості акустичного приймача по розпізнаванню розбірливості мови.

В проблемах забезпечення інформаційної безпеки важливе місце займають задачі оцінки ефективності захисту інформації від її витоків по акустичним каналам. Це пов'язано з тим, що акустичні сигнали несуть семантичну інформацію конфіденційного характеру, яка легко сприймається слуховим апаратом людини, а при наявності технічних засобів акустичної розвідки вона може бути прослухана на відстанях, що перевищують границі контрольованої зони.

Рекомендована нормативними документами методика інструментального контролю не дозволяє оцінити потенційний стан акустичного каналу витоку мовної інформації на стадіях попереднього спеціального обстеження або проектування виділеного (захищеного) приміщення (ВП). До того ж, розрахункова частина методики є спрощеною, т.к. не враховує нерівномірність спектрів мови і шуму, розміри та неоднорідності звукоізолюючих огорож, АЧХ середовища поширення та слухового апарату. Таким чином, очевидна практична потреба в оцінці стану потенційних каналів витоку акустичної інформації розрахунковим методом, що дозволяє апіорно оцінити стан даного каналу для конкретного ВП. Для

забезпечення адекватності та високої точності оцінки математична модель має враховувати всілякі просторові та енергетичні умови розвідувального контакту з урахуванням акустичних властивостей приміщень та технічних можливостей сучасних засобів акустичної розвідки.

З урахуванням специфіки поширення акустичних коливань існує 2 простих (нескладних) акустичних канали витоку мовної інформації: повітряний та віброакустичний канали. В обох даних каналах основним параметром, що впливає на захищеність інформації являється розбірливість мови, яка заснована на оцінці біологічного сигналу, що генерується людиною та сприймається органами слуху. Розбірливість мови в акустичному каналі безпосередньо залежить від структурно-просторових умов, тобто від складових елементів каналу, що впливають на поширення мовного сигналу та його розбірливість за межами контрольованої зони, а також від взаємного просторового розташування джерела та приймача акустичного сигналу та інших впливаючих елементів. Коротко можна охарактеризувати структурно-просторову модель акустичного каналу витоку інформації (рис. 2.1) наступним чином: створювані джерелами акустичні поля, ослаблені середовищем поширення, замасковані природними шумами та навмисними перешкодами, поширюються за межі контрольованої зони та можуть бути перехоплені засобами акустичної розвідки, які розташовані у ВП, або за його межами у сусідньому приміщенні (СП) або навіть у відкритому просторі.

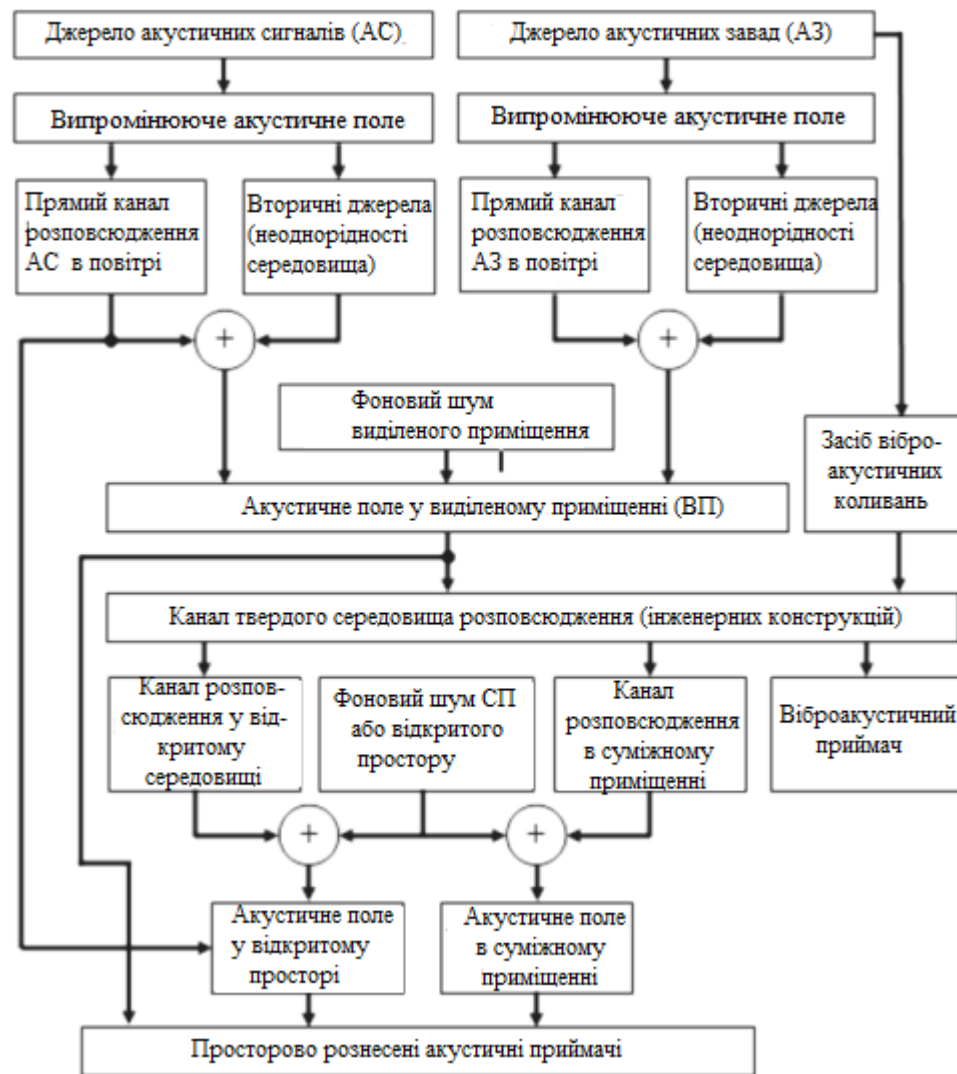


Рисунок 2.1 – Структурно-просторова модель акустичного каналу витоку інформації

Залежно від енергетичних умов розвідувального контакту, мовна інформація може бути розпізнана з певною якістю або не розпізнана. Отже, математична модель акустичного каналу витоку мовної інформації повинна являти собою сукупність взаємопов'язаних математичних виразів, які адекватно та досить точно описують стан розбірливості мови на виході засобів акустичної розвідки за різних просторових та енергетичних умов розвідувального контакту.

Загальні положення математичного моделювання.

Адекватність та точність моделі акустичного каналу витоку інформації залежить від вибору методу оцінки словесної розбірливості мови. На практиці,

використовуються три групи об'єктивних методів оцінки: формантні, модуляційні та емпіричні. У роботах [31-33] встановлено, що найбільш адекватним методом оцінки є формантний метод, у якому аналіз мови здійснюється у 20-частотних смугах з рівноартикуляційним розподілом розбірливості або в 21-й третьоктавних смугах (у спрощеному варіанті в 7-октавних смугах). В межах октавних смуг спектри мови і шуму, а також щільність розподілу ймовірностей формант, прийнято вважати практично незмінними. Оскільки вітчизняною наукою та промисловістю розроблено та створено третьоктавні та октавні фільтри, то математична модель акустичного каналу витоку інформації повинна являти собою математичний вираз словесної розбірливості мови, що може бути описаним у вигляді спектрального масиву рівнів мовного сигналу в 21-й третьоктавної смузі (1/3 октавної смуги).

З урахуванням специфіки структурно-просторової моделі, модель акустичного каналу витоку мовної інформації доцільно декомпонувати на 4 взаємоузгоджені окремі моделі: джерела акустичного сигналу; акустичних перешкод та шумів; середовища поширення акустичного сигналу та акустичного приймача.

Модель джерела акустичного (мовного) сигналу.

Значення спектрального рівня акустичного сигналу  $L_{s_i}(f_{cp_i})$  в 1/3 ВП визначається виразом:

$$L_{s_i}(f_{cp_i}) = L_s + 10 \cdot \lg \left( \frac{\int_{f_{ni}}^{f_{vi}} g_s \partial f}{G_s(f)} \right) = L_s + V_i, [\text{дБ}], \quad (2.1)$$

де  $L_s$  - інтегральний рівень акустичного сигналу, що вимірюється на відстані 1 м;  $G_s(f)$  - усереднений енергетичний спектр акустичного сигналу;  $G_s(f)$  - усереднена спектральна щільність потужності акустичного сигналу;  $V_i$  - ваговий енергетичний коефіцієнт і-ї смуги, що показує її внесок в інтегральну потужність акустичного сигналу, при оцінці в дБ має від'ємний знак;  $f_{cp_i}$  - середньгеометрична частота і-ї смуги;  $f_{ni}$  та  $f_{vi}$  - відповідно нижня та верхня

граничні частоти  $i$ -ї смуги. Розрахунок значень даних частот здійснюється за наступними формулами:

$$f_{cp_i} = 10^{\frac{x+i \cdot t}{10}}, f_{H_i} = \frac{f_{cp_i}}{\sqrt[2 \cdot t]{2}},$$

$$f_{B_i} = f_{cp_i} \cdot \sqrt[2 \cdot t]{2}, i = 1, N$$

де  $i$  - Номер смуги;  $N$  – число смуг, що дорівнює 7 для ВП та 21 для 1/3 ВП;  $X$  – число, рівне 18 для октавної смуги і 19 для 1/3 октавної смуги;  $t$  - число, що дорівнює 1 для октавної смуги і 3 для 1/3 октавної смуги. Отже, математична модель джерела акустичного сигналу описується виразом (2.1), що здійснює перетворення інтегрального рівня мовного сигналу  $L_s$ , в його спектральні рівні  $L_{s_i}(f_{cp_i})$  в 1/3 ВП.

Модель акустичних перешкод та шумів.

Найважливішими факторами, що впливають на розбірливість мови, являються акустичні природні шуми та навмисні перешкоди, так як процес сприйняття мови в шумі супроводжується втратами складових елементів (формант та фонем) мовного сповіщення. При цьому розбірливість мови буде залежати від рівня та виду перешкод (шуму) у місці розміщення приймача засобу акустичної розвідки. Спектральний рівень сумарного шуму  $L_{шi}$ , що наводиться на вході акустичного пристрою, визначається виразом:

$$L_{шi} = L_{e_i} + \chi \cdot Ln_i, \quad (2.2)$$

де  $L_{e_i}$ ,  $Ln_i$  – відповідно спектральні рівні природного шуму та навмисних перешкод в акустичному каналі, які вимірюються на вході акустичного приймача до  $i$ -ї 1/3 ОП\$  $\chi$  – формалізований параметр, що уточнює умови розвідувального контакту та характеризує застосування активних перешкод при  $\chi = 1$ .

Таким чином, залежність (2.2) представляє собою математичну модель, що описує спектральний рівень шуму на вході акустичного приймача, який створюється за рахунок наявності природніх шумів.

Модель середовища розповсюдження акустичного сигналу.

Ця модель повинна з огляду на просторові умови розвідувального контакту описувати нерівномірне залежне від частоти ослаблення мовного сигналу в процесі його поширення з урахуванням особливостей акустики конкретних ВП, їх звукоізолюючих та звукопоглинаючих можливостей. Зі структурно-просторової моделі акустичного каналу витоку мовної інформації випливає, що можливі 4 варіанти просторових умов розвідувального контакту, задаються формалізованими параметрами  $p_1$ ,  $p_2$ : підслуховування у відкритому просторі ( $p_1 = p_2 = 0$ ); підслуховування у ВП ( $p_1 = 0, p_2 = 1$ ); підслуховування поза ВП у відкритому просторі ( $p_1 = 1, p_2 = 0$ ); підслуховування в СП ( $p_1 = p_2 = 1$ ). Виходячи з таких умов, спектральний рівень  $L_{ci}$  акустичного сигналу у точці розміщення акустичного приймача визначається системою:

$$L_{ci} = \begin{cases} L_i - 20 \lg(r_0) - \frac{\beta_i r_0}{1000}, & \text{if } p_1 = p_2 = 0; \\ 10 \lg(10^{0,1L_{nbi}} + 10^{0,1L_{di}}) = L_{n1i}, & \text{if } p_1 = 0, p_2 = 1 \\ L_{n1i} - Z_i - 20 \lg(r_2), & \text{if } p_1 = 1, p_2 = 0; \\ 10 \lg(10^{0,1(L_{nbi} - Z_i)} + 10^{\lg(S_n/\alpha_2 S_2)}), & \text{if } p_1 = p_2 = 1 \end{cases} \quad (2.3)$$

де  $L_i$  - спектральний рівень акустичного сигналу на виході джерела, дБ;  $r_0$  - відстань від джерела акустичного сигналу до акустичного приймача у відкритому просторі, м;  $\beta$  - значення коефіцієнта згасання звуку в повітрі;  $L_{nbi}$  - спектральний рівень акустичного сигналу у точці прийому у ВП, що створюється прямою хвилею, дБ;  $L_{di}$  - спектральний рівень акустичного сигналу у точці прийому у ВП, створюваний дифузної складової поля, дБ;  $L_{n1i}$  - спектральний рівень акустичного сигналу на межі середовищ повітря - конструкція, що захищає огорожувальні конструкції у ВП, дБ;  $Z_i$  - втрати (загасання) акустичного сигналу у твердому середовищі поширення (звукоізолюючої огорожувальної конструкції), дБ,  $r_2$  - відстань від зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції до точки прийому акустичного сигналу у відкритому просторі, м;  $S_n$  - площа огорожувальної конструкції між ВП та СП, м<sup>2</sup>;  $S_2$  - площа внутрішніх поверхонь СП, в якому розміщується акустичний

приймач,  $m^2$ ;  $\alpha_{2i}$  – середній спектральний коефіцієнт звукопоглинання звуку у СП. Значення спектральних рівнів акустичного сигналу, створюваних прямою хвилею та дифузійною складовою поля, у точці прийому визначаються згідно з формулами:

$$L_{nv_i} = L_i - 20 \cdot \lg(r_1),$$

$$L_{di} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{10^{0,1 \cdot L_i} \cdot 4 \cdot (1 - \alpha_1)}{\alpha_1 \cdot S_1} \right], \quad (2.4)$$

де  $S_1$  – площа внутрішніх поверхонь ВП,  $m^2$ ;  $\alpha_1$  – середній спектральний коефіцієнт звукопоглинання звуку у ВП. За допомогою моделі середовища поширення акустичного сигналу, що описується виразами (2.3) і (2.4), розраховуються спектральні рівні  $L_{ci}$  мовного сигналу на вході акустичного приймача для різних варіантів просторового розвідувального контакту.

Модель акустичного приймача.

Особливість акустичного каналу витоку мовної інформації полягає в тому, що семантичний аналіз мови, перехопленої засобами акустичної розвідки, робить людина. З урахуванням цієї особливості, а також обраного формантного методу оцінки, математична модель акустичного приймача має описувати функціональну залежність інтегральної величини, що характеризує розбірливість (артикуляцію) мови, від відношення рівнів сигнал/шуму на вході приймача, тобто від енергетичних умов розвідувального контакту. Для зручності обчислення цей інтегральний функціонал слід замінити зваженою сумою, що дозволяє проводити розрахунок формантної розбірливості мови  $R$ :

$$R = \sum_{i=1}^n k_i \cdot r_i(Q_i), \quad (2.5)$$

де  $i$  – номер 1/3 ВП,  $n$  – їх число,  $k_i$  – вагові коефіцієнти, що характеризують ймовірність наявності формант в 1/3 ВП, тобто їх ваговий внесок у розбірливість,  $r_i$



$(Q_i)$  - коефіцієнт сприйняття формант, що залежить від відносного рівня  $Q_i$  сигнал/шум, тобто

$$Q_i = q_i - \Delta A_i = Lc_i - Lш_i - \Delta A_i + \Theta \cdot \text{Кнд}_i + m \cdot \text{Кош}_i, \text{дБ}, \quad (2.6)$$

де  $q_i$  – енергетичне співвідношення рівнів акустичного сигналу та акустичних завад;  $\Delta A_i$  – формантний параметр, що характеризує енергетичну збитковість дискретної складової акустичного сигналу;  $\Theta$  та  $m$  – формалізовані параметри, що уточнюють енергетичні умови розвідувального контакту, якщо  $\Theta = 1$ , то прослуховування мови здійснюється з використанням технічних засобів акустичної розвідки (гостроспрямованих мікрофонів), якщо  $m = 1$ , то прослуховування мови здійснюється з використанням технічних засобів шумового очищення мови;  $\text{Кнд}_i$  – коефіцієнт спрямованої дії (КНД) мікрофону в 1/3 ВП, що характеризує енергетичний виграш за рахунок його застосування, дБ;  $\text{Кош}_i$  – коефіцієнт покращення відношення сигнал/шум у 1/3 ВП за рахунок застосування засобів шумового очищення, дБ. Значення коефіцієнтів  $r_i(Q_i)$  та  $k_i$  визначаються за допомогою аналітичних співвідношень, що забезпечують помилку апроксимації менше 1%:

$$r_i = \left| \gamma_1 - \left( \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp(-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|)^2)}{1 + 10^{0,1 \cdot |Q_i|}} \right) \right|, \quad (2.7)$$

$$\text{де } \gamma_1 = \begin{cases} 1, & \text{if } Q_i > 0, \\ 0, & \text{if } Q_i \leq 0, \end{cases}$$

$$k_i = \begin{cases} 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot [f_{\text{в.і}}^{2,4} - f_{\text{н.і}}^{2,4}], & \text{if } f \leq 400 \text{ Гц}, \\ 1,074 \cdot [\exp(-10^{-4} \cdot f_{\text{в.і}}^{1,18}) - \exp(-10^{-4} \cdot f_{\text{н.і}}^{1,18})] & \end{cases} \quad (2.8)$$

Тепер, розрахунок словесної розбірливості мови  $W$  легко здійснюється за допомогою наступного виразу:

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{0,25} \cdot [1 - \exp(-11 \cdot R)], & \text{if } R < 0,15 \\ 1 - \exp\left(-\frac{11 \cdot R}{1 + 0,7 \cdot R}\right), & \text{if } R \geq 0,15 \end{cases} \quad (2.9)$$

Вирази (2.5) - (2.9) представляють собою математичну модель акустичного приймача, при цьому вираз (2.6) визначає енергетичні умови розвідувального контакту від якого залежить формантна розбірливість мови, а вираз (2.9) описує залежність величини словесної розбірливості від формантної розбірливості.

Таким чином, розрахована за допомогою моделі словесна розбірливість мови дозволяє зробити висновок про стан захищеності мови в дослідженому акустичному каналі, а математична модель акустичного каналу витоків мовної інформації, розроблена на основі структурно-просторової моделі, встановлює функціональну залежність розбірливості мови від характеристик сигнально-завадової обстановки в каналі.

## 2.2 Математична модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації.

Одним із актуальних каналів витоку мовної інформації являється оптико-електронний канал [11-14, 36-40]. При цьому, найнебезпечніші загрози витоку мовної інформації можливі через віконні отвори з використанням оптико-електронної лазерної апаратури дистанційного прослуховування мови (лазерних мікрофонів). Дана загроза заснована на модулюванні відбитого лазерного випромінювання згинальними коливаннями віконних шибок, джерелом яких є мовні сигнали, що циркулюють всередині приміщень.

Пропонується наступна модель оптоелектронного каналу витоку акустичної мовної інформації. Блок-схема цієї моделі представлена на рис. 2.2:

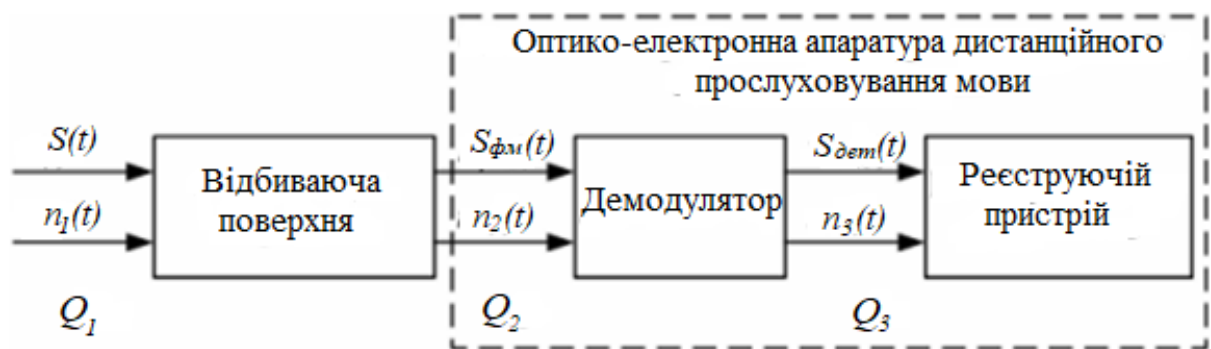


Рисунок 2.2 – Блок-схема витоку акустичної мовної інформації по оптико-електронному каналу

На (рис. 2.2) приведені наступні позначення:

$S(t)$  – інформативний акустичний сигнал;

$S_{\phi m}(t)$  – відбитий сигнал лазерного випромінювання, промодульований інформативним акустичним сигналом;

$S_{dem}(t)$  – інформативний електричний сигнал на виході демодулятора засобу знімання інформації;

$n_1(t)$  – шумова складова, обумовлена акустичним низькочастотним шумом діючим на відбиваючу поверхню огорожувальної конструкції;

$n_2(t)$  – шумова складова, обумовлена атмосферними шумами тракту передачі сигналу;

$n_3(t)$  – шумова складова, обумовлена власними шумами;

$Q$  – відношення сигнал/шум у відповідних точках по потужності.

В даній моделі, на відбиваючу поверхню огорожувальної конструкції впливає інформативний акустичний сигнал, змушуючи його змінювати параметри відбитого лазерного випромінювання. Нехай на поверхню об'єкта, що досліджується, впливає тональний акустичний сигнал. У цьому випадку поверхня об'єкта, що досліджується, коливатиметься за законом:

$$x(t) = L \cdot \cos(\Omega t + \varphi)$$

За наявності зсуву частот інтерферуєчих пучків вихідний сигнал лазерного доплерівського віброперетворювача являє собою частотно модульоване коливання виду:

$$S(t) = S_0 \cdot \cos\left(\omega_0 \cdot t + 2\pi\left(\frac{L}{\lambda}\right) \cdot \sin(\Omega \cdot t + \varphi) + \beta\right),$$

де

$\omega_0$  – середнє значення частоти сигналу;

$S_0$  – амплітуда сигналу;

$L$  – амплітуда віброколивань;

$\Omega$  – частота вібрації;

$\varphi, \beta$  – початкові фази.

Амплітуда вібрації з цього рівняння може бути визначена за виміряним

значенням індексу фазової (частотної) модуляції.

Таким чином, відбитий сигнал виявляється промодульованим по фазі (частоті) і при початкових фазах рівних нулю ( $\varphi = 0$ ,  $\beta = 0$ ) може бути представлений у наступному вигляді:

$$S_{\phi_M}(t) = S_0 \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + m_f \cdot \sin(\Omega \cdot t)]$$

Оскільки, на відбиваючу поверхню об'єкта впливає не тільки корисний тональний акустичний сигнал, але і акустичний низькочастотний шум, то відображене випромінювання лазера буде промодульовано по фазі (частоті) сумішшю сигналу  $S(t)$  та шуму  $n_1(t)$ :

$$S(t) = m_f \sin \Omega t;$$

$$n_1(t) = k_1 \xi_1(t),$$

де  $\xi_1(t)$  – гаусівський низькочастотний шум, причому  $\langle \xi_1(t) \rangle = 0$  и  $\langle \xi_1^2(t) \rangle = 1/2$ ;

$m_f$  – індекс фазової (частотної) модуляції.

У цьому випадку, у відбитому випромінюванні лазера є шумова складова  $n_1(t)$ , обумовлена природними акустичними шумами, яку можна розглядати як джерело нормального шуму приведенного до входу приймача. Тоді можна вважати, що на відбитий з поверхні досліджуваного об'єкта сигнал лазера діють низькочастотні збудження, що являють собою суміш інформативного сигналу  $S(t)$  та наведеного шуму  $n_1(t)$  із співвідношенням сигнал/шум, рівним  $Q_1$ .

$$Q_1 = \frac{\langle S^2(t) \rangle}{\langle n_1^2(t) \rangle},$$

$$\text{де } \langle S^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T S^2(t) dt;$$

$$\langle n_1^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T n_1^2(t) dt.$$

Відбитий модульований сигнал  $S_{\phi_M}(t)$  надходить на вхід апаратури разом із атмосферними шумами  $n_2(t)$ . Позначимо відношення сигнал/шум на вході апаратури через  $Q_2$ :

$$Q_2 = \frac{\langle S_{\Phi M}^2(t) \rangle}{\langle n_2^2(t) \rangle},$$

де

$$\langle S_{\Phi M}^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T S_{\Phi M}^2(t) dt;$$

$$\langle n_2^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T n_2^2(t) dt.$$

Після перетворення та детектування результуючий сигнал можна подати як суміш інформативного сигналу  $S_{dem}(t) = k S(t)$  і шуму  $n_3(t)$  із співвідношенням сигнал/шум  $Q_3$ ,

$$\text{де } \langle S_{дет}^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T S_{дет}^2(t) dt;$$

$$\langle n_3^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T n_3^2(t) dt.$$

Тоді відношення потужності корисного сигналу до шуму на виході оптимального перетворювача (детектора) визначиться співвідношенням:

$$Q_3 = \frac{2m_f^2 Q_1 Q_2}{(2Q_1 + Q_1 m_f^2 + 2Q_2 m_f^2 + m_f^2)}, \quad (2.10)$$

Як відомо, словесна розбірливість мови пов'язана із співвідношенням сигнал/шум виразом:

$$W = \frac{1}{1 + 0,21 Q^{-1}}, \quad (2.11)$$

Для оцінки можливості перехоплення мовної інформації по оптико-електронному каналу застосуємо результати приведеної математичної моделі в методиці 3.1. З огляду на це, пропонується розширити приведену математичну модель виразами (2.12) - (2.14).

Тоді, із залежності (2.11) можна отримати величину  $Q_3$  для мінімального значення словесної розбірливості на детекторі:

$$Q_3 = \frac{0,21W_{min}}{1 - W_{min}}, \quad (2.12)$$

Далі, використовуючи залежність (2.10), отримаємо значення  $Q_2$ :

$$Q_2 = \frac{2Q_1Q_3 + Q_1Q_32m_f^2 + Q_3m_f^2}{(2m_f^2Q_1 - 2Q_3m_f^2)}, \quad (2.13)$$

якій відповідає словесна розбірливість:

$$W_2 = \frac{1}{1 + 0,21Q_2^{-1}}, \quad (2.14)$$

Таким чином, приведена модель оптико-електронного каналу витоку мовної акустичної інформації дозволяє визначити відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму на виході оптимального перетворювача (детектора). Крім того, застосувавши спільно формули (2.10) і (2.11), можна визначити словесну розбірливість при використанні оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови через відношення сигнал/шум на відбиваючій поверхні, відношення сигнал/шум на вході засобу прослуховування мови та параметрів модуляції відбиваючої поверхні.

Також, при спільному використанні формул (2.12) і (2.13), можна визначити величину  $Q_2$  та відповідну їй словесну розбірливість (2.14) для мінімального значення словесної розбірливості на виході оптимального перетворювача (детектора). Значення словесної розбірливості  $W_2$  можна отримати, використовуючи методику наведену у розділі 3.1. У випадку невідповідності отриманої словесної розбірливості  $W_2$  встановленим значенням, можна регулювати її величину за допомогою оптимальної завади приведеної у розділі 3.1.

### 2.3 Математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації

Розглянута математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації із застосуванням радіотехнічної розвідки включає три основні блоки [41]:

1) блок розрахунку відношення сигнал/шум на вході розвідувального приймача при розвідці радіоелектронних систем в заданих умовах;

2) блок опису процесу перетворення прийнятого вхідного сигналу елементами розвідувального приймача;

3) блок розрахунку інформаційного показника, що характеризує ефективність роботи розвідувального приймача в процесі розвідки.

Враховуючи, що рівень шумів визначається чутливістю, відношення сигнал/шум визначатиметься за наступною формулою:

$$q = \frac{P_c}{P_{PP \min}} \quad (2.15)$$

де  $P_c$  – потужність сигналу на вході лінійної частини приймача

$P_{PP \min}$  – потужність сигналу на вході приймальної антени

Аналіз та обробка прийнятого коливання  $\xi(t)$  з метою прийняття певного рішення можуть здійснюватися двома методами: дискретним та безперервним.

Якщо спостереження проводиться в окремі моменти часу (дискретне спостереження), то інформація про прийняті дані буде міститись у випадкових величинах  $\xi_1 = \xi(t_1), \dots, \xi(t_m) = \xi(t_m)$ , що представляють собою вибіркові значення прийнятого коливання  $\xi(t)$  у моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_m$ .

Вибіркові значення прийнятого коливання  $\xi(t)$  описуються спільною густиною ймовірності  $W_m(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)$ , а відповідні вибіркові значення шуму  $n(t)$  – густиною ймовірності  $w_m(n_1, n_2, \dots, n_m)$ .

Припустимо, що відбувається дискретне спостереження, і сигнал  $s(t) = s(t, \lambda)$  залежить від одного параметра  $\lambda$ , що має апіорну щільність ймовірності  $W_{pr}(\lambda)$ .

Тоді, умовна ймовірність визначається виразом:

$$W_{ps}(\lambda) = W(\lambda | \xi_1, \dots, \xi_m), \quad (2.16)$$

і називається апостеріорною ймовірністю.

Розглянута, як функція від  $\lambda$ , умовна ймовірність  $W(\xi_1, \dots, \xi_m | \lambda)$  називається функцією правдоподібності. При фіксованих значеннях  $\xi_1, \dots, \xi_m$  вона показує,

наскільки одне можливе значення  $\lambda$  правдоподібніше іншого. Позначимо функцію правдоподібності через  $L(\lambda)$ :

$$L(\lambda) = W(\xi_1, \dots, \xi_m | \lambda) \quad (2.17)$$

тоді:

$$W_{ps}(\lambda) = k W_{pr}(\lambda) L(\lambda), \quad (2.18)$$

де

$$k = \left[ \int W_{pr}(\lambda) L(\lambda) d\lambda \right]^{-1}.$$

Формула (2.18), по суті, представляє математичний запис теореми Байєса, яка показує, яким чином з апіорних даних та результатів аналізу прийнятого колювання формуються апіорні значення.

Формула (2.18) може бути узагальнена. Якщо параметр  $\lambda$  може приймати лише одне з кількох дискретних значень  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_v$ , то можна записати:

$$W_{ps}(\lambda) = k W_{pr}(\lambda_i) L(\lambda_i), \quad i = 1, 2, \dots, v, \quad (2.19)$$

де

$$k = \left[ \sum_{i=1}^v W_{pr}(\lambda_i) L(\lambda_i) \right]^{-1}$$

Якщо сигнал залежить від  $\mu$  параметрів  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\mu$ , тобто

$$s(t) = s(t, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\mu), \quad (2.20)$$

тоді формула буде мати вигляд:

$$W_{ps}(\lambda_1, \dots, \lambda_\mu) = k W_{pr}(\lambda_1, \dots, \lambda_\mu) L(\lambda_1, \dots, \lambda_\mu), \quad (2.21)$$

де

$$k = \left[ \int \dots \int W_{pr}(\lambda_1, \dots, \lambda_\mu) L(\lambda_1, \dots, \lambda_\mu) d\lambda_1, \dots, d\lambda_\mu \right]^{-1}$$



З формул (2.18), (2.19) та (2.21) видно, що при відомих апіорних густинах ймовірностей знаходження апостеріорної ймовірності зводиться до обчислення функції правдоподібності.

У тому випадку, коли прийняте коливання представляє адитивну суміш сигналу та шуму, тобто:

$$\xi(t) = s(t) + n(t)$$

і багатовимірні густини ймовірності шуму  $w_m(n_1, \dots, n_m)$  відомі, функції правдоподібності обчислюються порівняно просто. В інших випадках їх обчислення представляє дуже складне завдання.

Далі ми обмежимося розглядом того важливого, але окремого випадку, коли прийняте коливання  $\xi(t)$  є адитивною сумішшю корисного сигналу  $s(t)$  і нормального білого шуму  $n(t)$ . При цьому значення спектральної щільності шуму  $N_0$  припускати відомим.

Таким чином, при дискретному спостереженні формула (2.18) набуває наступного остаточного вигляду:

$$W_{ps}(\lambda) = k W_{pr}(\lambda) L(\lambda),$$

де

$$L(\lambda) = \left( \frac{\pi \cdot N_0}{\Delta} \right)^{\frac{-m}{2}} \exp \left( - \frac{1}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^m (\xi_i(t_i) - s(t_i, \lambda))^2 \cdot \Delta \right)$$

Якщо параметр  $\lambda$  може набувати кількох значень  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\nu$ , то у формулу (2.19) потрібно підставляти функцію правдоподібності при відповідному значенні параметра  $\lambda$ .

Шляхом аналогічних міркувань неважко переконатися, що для сигналу (2.20), який залежать від декількох параметрів, функція правдоподібності, що входить у формулу (2.21), має вигляд:

$$L(\lambda_1, \dots, \lambda_\mu) = \left( \frac{\pi \cdot N_0}{\Delta} \right)^{\frac{-m}{2}} \exp \left( - \frac{1}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^m (\xi_i(t_i) - s(t_i, \lambda_1, \dots, \lambda_\mu))^2 \cdot \Delta \right)$$

Таким чином, при безперервному спостереженні формула (2.18) набуває наступного остаточного вигляду:

$$W_{ps}(\lambda) = k W_{pr}(\lambda) F(\lambda),$$

де  $F(\lambda)$  – функціонал правдоподібності.

З урахуванням викладеного, обґрунтуємо оптимальну схему виявлення сигналу для практично важливого окремого випадку, коли сигнал носить детермінований характер, а невідомий параметр  $\lambda$  може приймати тільки одне з двох значень:  $\lambda = 1$  (у прийнятому колюванні присутній сигнал);  $\lambda = 0$  (у прийнятому колюванні сигнал відсутній).

Нехай прийняте колювання  $\xi(t)$  становить суму

$$\xi(t) = \lambda s(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T$$

де  $n(t)$  - нормальний білий шум;

$s(t)$  – корисний сигнал відомої форми (детермінований сигнал), що повністю розташований на інтервалі спостереження.

Що стосується апіорних відомостей про параметр  $\lambda$ , то вважатимемо, що апіорні ймовірності наявності та відсутності сигналу  $W_{pr}(1)$ ,  $W_{pr}(0)$  відомі.

При безперервній обробці прийнятої реалізації апостеріорна ймовірність наявності детермінованого сигналу ( $\lambda = 1$ ) визначається формулою:

$$W_{ps}(1) = k W_{pr}(1) \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \int_0^T [\xi(t) - s(t)]^2 dt \right\} \quad (2.22)$$

Апостеріорна ймовірність відсутності сигналу ( $\lambda = 0$ ), очевидно, дорівнює:

$$W_{ps}(0) = k W_{pr}(0) \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \int_0^T \xi^2(t) dt \right\}, \quad (2.23)$$

причому:

$$W_{pr}(0) + W_{pr}(1) = 1.$$

На рис. 2.3 наведено чотири реалізації випадкового коливання: перші дві зображують шум на виході узгодженого фільтра  $q_n$ , а інші - суму сигналу і шуму  $q=q(l)$ . Нехай встановлено деякий поріг  $H$ . Для конкретних реалізацій, наведених на рис. 2.3, можна помітити, що шум першої реалізації не перевищує порога. У другій реалізації сигналу немає, проте значення шуму перевищує поріг. У третій реалізації сума сигналу та шуму перевищує поріг, а четверта реалізація, незважаючи на наявність сигналу, не досягає порога.

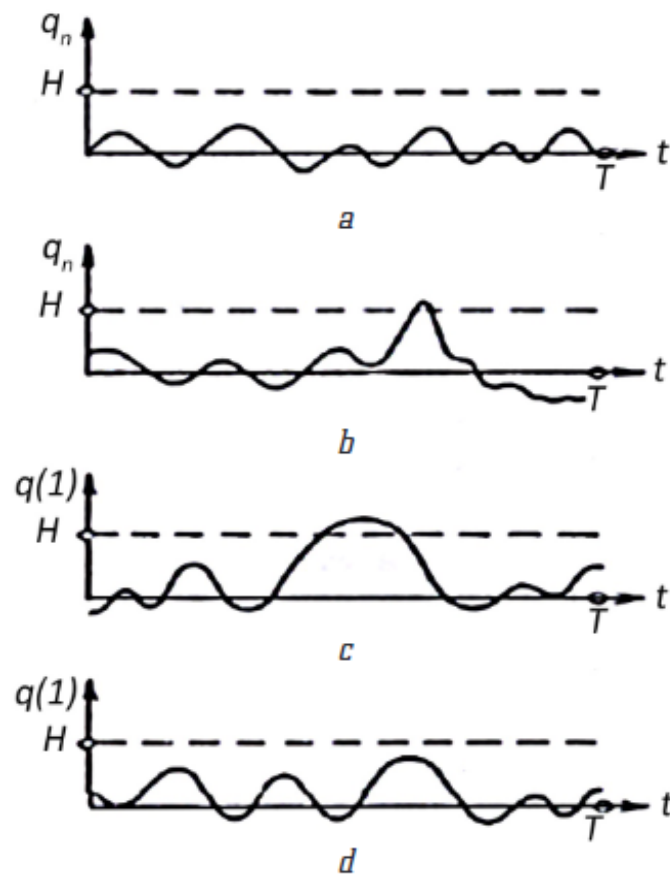


Рисунок 2.3 – Чотири можливих випадки при виявленні сигналу на фоні шуму

З розглянутих чотирьох випадків у двох випадках (першому та третьому) буде прийнято правильне рішення, а у двох інших (другому та четвертому) – неправильне. Якщо взяти інший поріг  $H$ , описана ситуація може змінитися.

Виходячи з даного розгляду приходимо до висновку, що при кінцевому значенні енергії сигналу та наявності випадкового шуму прийняття рішення про наявність чи відсутність сигналу завжди супроводжується помилками двох видів:

1) незважаючи на відсутність сигналу, шум перевершує поріг і приймається неправильне рішення про наявність сигналу (помилка першого роду);

2) хоча сигнал присутній, але граничний рівень не перевищений і приймається помилкове рішення про відсутність сигналу (помилка другого роду).

Позначимо ймовірність помилки першого роду через  $P_0=P(1|0)$  та ймовірність помилки другого роду через  $P_1=P(1|1)$ . Для цих ймовірностей можемо записати формули:

$$P_0 = \int_H^\infty W_{ps}(q_n|0) dq_n, \quad P_1 = \int_0^H W_{ps}(q|1) dq$$

Середня ймовірність загальної (сумарної) помилки дорівнює:

$$P_e = P_0 + P_1 = H \int_H^\infty W_{ps}(q|0) dq_n + \int_0^H W_{ps}(q|1) dq, \quad (2.24)$$

а ймовірність правильного виявлення сигналу дорівнює:

$$D = 1 - P_1$$

Згідно з критерієм ідеального спостерігача, пороговий рівень  $H$  встановлюється таким, щоб ймовірність загальної помилки  $P_e$  була мінімальною і, відповідно, ймовірність правильного рішення максимальною.

Щоб права частина рівності (2.24) мала мінімум, потрібно прирівняти похідну  $H$  до нуля. В результаті отримаємо, що якщо для прийнятої реалізації виявиться:

$$W_{ps}(H|1)/W_{ps}(H|0) > 1, \quad (2.25)$$

То можемо констатувати факт наявності сигналу, і навпаки.

На (рис. 2.4) наведено оптимальну схему виявлення детермінованого сигналу на фоні шуму.

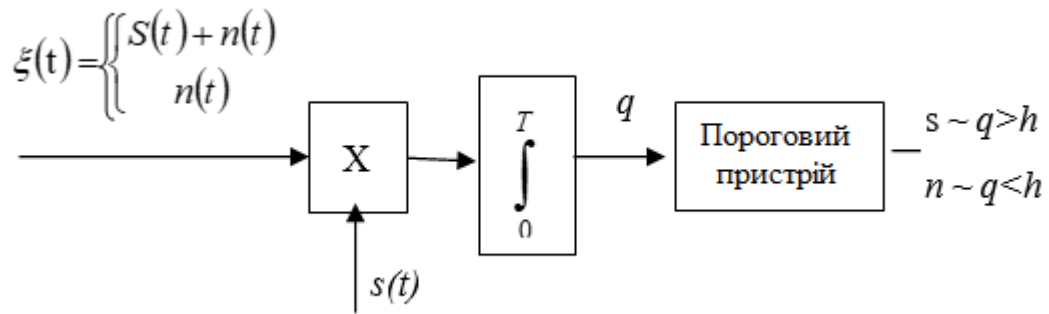


Рисунок 2.4 – Оптимальна схема для виявлення детермінованого сигналу на фоні шуму

Підставивши в (2.25) вирази апостеріорних ймовірностей (2.22) і (2.23), отримаємо, що рішення про наявність сигналу приймається при виконанні нерівності:

$$\exp\left[\frac{2}{N_0} \int_0^T \xi(t)s(t)dt\right] > \frac{W_{pr}(0)}{W_{pr}(I)} \exp\left(\frac{E}{N_0}\right)$$

Враховуючи монотонний характер логарифмічної функції та логарифмуючи обидві частини цієї нерівності, що містить позитивні величини, отримаємо:

$$q = \frac{2}{N_0} \int_0^T \xi(t)s(t)dt > \frac{E}{N_0} + \ln \frac{W_{pr}(0)}{W_{pr}(I)} = h. \quad (2.26)$$

З цієї формули видно, що для винесення рішення про наявність або відсутність детермінованого сигналу, на фоні білого шуму, потрібно прийняту реалізацію  $\xi(t)$  перемножити з сигналом  $S(t)$ , проінтегрувати добуток по інтервалу часу  $T$ , де відома реалізація, і результат інтегрування порівняти з порогом  $h$ , що визначається правою частиною формули (2.26). Якщо цей пороговий рівень перевищено, то приймається рішення про наявність сигналу. Якщо ж поріг не перевищений, то констатується відсутність сигналу.

## Висновки до розділу 2

1. Розглянуто математичну модель акустичного каналу витоку мовної інформації, що враховує просторові та енергетичні умови розвідувального контакту в каналі та забезпечує достатньо високу точність оцінки захищеності

мови. Математична модель представлена у вигляді сукупності з чотирьох взаємозалежних моделей, що досить точно описують акустичний сигнал, створений джерелом мови, акустичні навмисні перешкоди та природні шуми, вплив неоднорідного середовища поширення та можливості акустичного приймача по розпізнаванню мови. Розрахована за допомогою розглянутої моделі, на основі формантного методу, словесна розбірливість мови дозволить зробити висновок про стан захищеності мови у досліджуваному акустичному каналі витоку мовної інформації, оцінити ефективність можливих заходів захисту.

2. Розглянута математична модель оптико-електронного каналу витоку акустичної інформації, що дозволяє визначити відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму на виході детектора, а також визначити словесну розбірливість мови при використанні оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови через відношення сигнал/шум на відбиваючій поверхні, відношення сигнал/шуму на вході засобу прослуховування мови та параметрів модуляції відбиваючої поверхні.

Приведена математична модель була розширена залежностями для визначення величини сигнал/шуму на вході оптико-електронної апаратури та відповідної їй словесної розбірливості для отримання мінімального значення словесної розбірливості на виході оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови. Також, приведений зв'язок зазначеної моделі з представленою в 3.1 методикою оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації виділеного приміщення, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації з використанням оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови.

3. Розглянута математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації, яка базуючись на положеннях теорії оптимального прийому, описує процес перетворення прийнятого розвідувальним приймачем електромагнітного коливання з метою прийняття рішення про наявність сигналу розвідувальним радіоелектронним пристроєм. Приведена математична модель дістала свого подальшого розвитку в пунктах 3.2. та 3.3, де шляхом врахування параметрів

передавача та приймача, представлено розрахунок оптимального рівня небезпечного сигналу та маскуючого шуму.

### РОЗДІЛ 3.

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕХОПЛЕННЯ ТА ЗАХИСТУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВИДІЛЕНОГО ПРИМІЩЕННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ РІВНЯ НЕБЕЗПЕЧНОГО СИГНАЛУ ТА МАСКУЮЧОГО ШУМУ

### 3.1 Методика оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації виділеного приміщення

Дослідженню даної тематики присвячений цілий ряд робіт [42-62], метою даної методики являється оцінка можливості перехоплення та забезпечення захисту мовної інформації ВП (виділене приміщення), яка дає можливість оцінити захищеність мовної інформації ВП, шляхом розрахунку відношення сигнал/шум за огороженнями приміщення, а також оцінює можливість перехоплення мовної інформації ВП по акустичним каналам на основі розрахунку словесної розбірливості при навмисному і ненавмисному прослуховуванні мовної інформації із СП (суміжне приміщення) через елементи його конструкції (стіни, стелю, підлогу, перегородку, двері та вікно).

В порівнянні з роботою [53], розрахунок значень словесної розбірливості заснований на врахуванні параметрів ВП (площі та типу конструктивних елементів, наявність або відсутність спрямованого мікрофону) та не потребує використання широкого спектру інструментально-вимірального обладнання. Також, в розділі 2.2. приведений зв'язок зазначеної методики з оптико-електронним каналом витоку мовної інформації, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації через віконні отвори та пройоми з використанням оптико-електронної лазерної апаратури дистанційного прослуховування мови (ЛСАР). Крім того, у випадку невідповідності словесної розбірливості отриманої за результатами використання приведеної методики встановленим значенням, можна регулювати її величину за допомогою використання в методиці оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади.

Захищеність інформації оцінюється енергетичними і інформаційними показниками [27]. Як відомо, в якості енергетичного показника захищеності



інформації використовується відношення сигнал/шум на вході акустичного приймача.

Проведемо оцінку можливості прослуховування мовної інформації із виділеного приміщення шляхом розрахунку значення сигнал/шум в суміжному приміщенні.

Спочатку необхідно описати рівень мовного сигналу в приміщенні. Для гучної розмови він дорівнюватиме 60 – 70 дБ. Якщо гучність мови в приміщенні дорівнює  $L_c$ , а звукоізоляція середовища на шляху поширення звуку –  $Z_c$ , то гучність мови в точці прослуховування розраховується за формулою:

$$L_{\Pi} = L_c - Z_c$$

Коли прослуховування проводиться з використанням технічних засобів з частотною корекцією, компенсуючи зниження чутливості слуху людини в області низьких частот на 6 дБ, тоді рівень гучності за огорожею визначається за уточненим виразом:

$$L_{\Pi} = L_c - Z_c + 6 \quad (3.1)$$

На можливість прослуховування мови впливають акустичні шуми, що створюються в будівлі та на вулиці. Рівень сигналу з урахуванням акустичних шумів  $L_{\text{ш}}$  в точці прослуховування розраховується за формулою:

$$L_{\Pi} = L_c - Z_c + 6 - L_{\text{ш}}$$

При розрахунку захисту приміщення від витоків інформації акустичним каналом рекомендується брати значення акустичних шумів не вище 20 дБ або не враховувати зовсім.

Наступним кроком необхідно визначити тип огороження, за яким ведеться розрахунок рівня акустичного сигналу.

У першому випадку це однорідна поверхня без дверей і вікон, що складається з єдиного елемента, який забезпечує одне й те саме значення звукоізоляції у всіх точках.

Виходячи з виразу (3.1), розрахунок рівня акустичного сигналу за огорожами приміщення в даному випадку виконується за формулою:

$$L_{\Pi} = L_c - 6 + 10 \cdot \lg S_{\Pi} - Z_c + 6 - L_{\text{ш}}, \quad (3.2)$$

де  $L_c$  – рівень мовного сигналу в приміщенні (перед огорожею), дБ;

-6 дБ – поправка, враховуюча характер звукового поля падаючого на перешкоду;

$S_{\Pi}$  – площа огороження, м<sup>2</sup>;

$Z_c$  – звукоізоляційна здатність огороження, дБ;

$L_{\text{ш}}$  – рівень шуму, дБ;

У другому випадку необхідно зробити розрахунок звукоізолюючої здатності неоднорідної поверхні (дБ), що складається з елементів з різною звукоізоляцією та площею  $S$ . Дана здатність визначається за формулою:

$$Z_{\text{нп}} = Z_c - 10 \lg \left[ 1 + \frac{S_0}{S_c + S_0} (10^{0.1(Z_c - Z_0)} - 1) \right]$$

де  $Z_c$  і  $Z_0$  – величина звукоізоляції стіни та вікна (дверей) відповідно;

$S_c$  і  $S_0$  – площа стіни та вікна (дверей) відповідно;

Розрахунок рівня акустичного сигналу за огорожами приміщення проводиться за формулою:

$$L_{\Pi} = L_c - 6 + 10 \cdot \lg S_{\Pi} - Z_{\text{нп}} + 6 - L_{\text{ш}}, \quad (3.3)$$

де  $Z_{\text{нп}}$  – звукоізоляційна здатність неоднорідної поверхні огороження, дБ;

Для гарантованого захисту мовної інформації відношення сигнал/шум повинно бути не більше 0,1 або (-10) дБ.

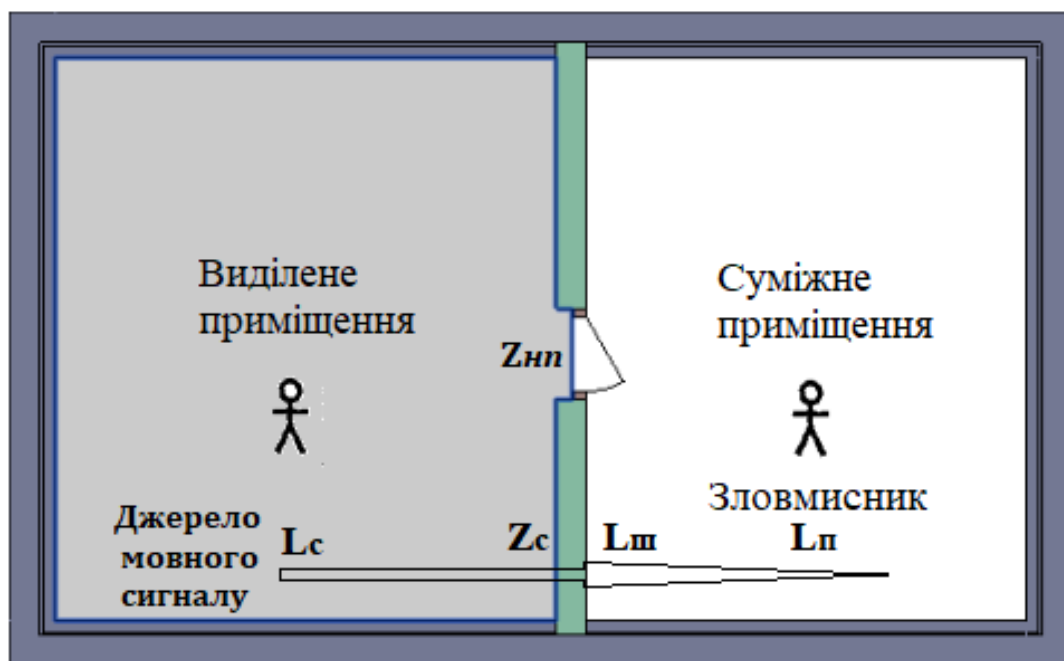


Рисунок 3.1 – Наочна схема оцінки можливості прослуховування мовної інформації із виділеного приміщення

Як результат проведених розрахунків, методика дозволяє отримати значення рівня акустичного сигналу за огороженнями приміщення забезпечуючи можливість порівняння теоретичних результатів з практичними, а використання описаних залежностей потрібне для досягнення оптимального значення рівня акустичного сигналу за огороженнями приміщення. Отримані з виразів (3.2) та (3.3) значення рівня акустичного сигналу за огорожами приміщення необхідно розглядати в комплексі. Різниця між значеннями звукоізолюючої здатності всіх стін та перекриттів приміщення має бути мінімальною.

Далі отримані результати рівня захисту ВП розглядаються і приймається рішення про підвищення рівня захищеності приміщення за допомогою доопрацювання конструкції, заміни або додавання звукопоглинаючих матеріалів, або використання додаткових активних засобів захисту.

В якості інформаційного критерія захищеності інформації використовується розбірливість мови.

Використовуючи залежності (3.2) та (3.3), розглянемо алгоритм розрахунку словесної розбірливості на основі формантного методу [34]:

1) Спектр мови розбивається на  $N$  довільних частотних смуг ( $i = 1, \dots, N$ ), для кожної частотної смуги визначається середньгеометрична частота за формулою:

$$f_{\text{ср}i} = \sqrt{f_{\text{Н}i} \cdot f_{\text{В}i}}$$

2) Для кожної частотної смуги визначаються:

а) формантний параметр  $\Delta A_i$ , що характеризує енергетичну збитковість мовного акустичного сигналу в даній частотній смузі (збитковість обумовлена наявністю в мові неформатних складових, до яких відносяться основні тони, області частот між формантами і складові, що залежать від індивідуальних особливостей співрозмовників) і розраховується за формулою:

$$\Delta A_i = \begin{cases} \frac{200}{(f_i)^{0.43}} - 0,37, & f \leq 1000 \text{ Гц}; \\ 1,37 + \frac{1000}{(f_i)^{0.69}}, & f > 1000 \text{ Гц}; \end{cases}$$

б) Ваговий коефіцієнт  $k_i$ , що характеризує ймовірність наявності формант мови в даній частотній смузі і розраховується за формулою:

$$k_i = k_{(f_{\text{В}i})} - k_{(f_{\text{Н}i})}$$

при цьому, значення вагового коефіцієнту для верхньої  $k_{(f_{\text{В}i})}$  та нижньої  $k_{(f_{\text{Н}i})}$  граничної частоти  $i$ -тої частотної смуги спектра мовного сигналу розраховується за формулою:

$$k_{(f_{\text{Н}i})} = \begin{cases} 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot (f_{\text{Н}i})^{2,4}, & 100 \leq f_{\text{Н}i} \leq 400 \text{ Гц}; \\ 1 - 1,074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot (f_{\text{Н}i})^{1,18}), & 400 < f_{\text{Н}i} \leq 10\,000 \text{ Гц}; \end{cases}$$

$$k_{(f_{\text{В}i})} = \begin{cases} 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot (f_{\text{В}i})^{2,4}, & 100 \leq f_{\text{В}i} \leq 400 \text{ Гц}; \\ 1 - 1,074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot (f_{\text{В}i})^{1,18}), & 400 < f_{\text{В}i} \leq 10\,000 \text{ Гц}; \end{cases}$$

3) У кожній частотній смузі вимірюються рівень мовного сигналу  $L_{ci}$ , дБ і рівень шуму  $L_{\text{ш}i}$ , дБ, які розраховуються:

відношення сигнал/шум  $q_i$ , дБ:

$$q_i = L_{ci} - L_{\text{ш}i};$$

відношення сигнал/шум  $Q_i$ , дБ, з урахуванням (3.2) та формантного параметра

$\Delta A_i$ :

$$Q_i = q_i - L_c - 6 + 10 \cdot \lg S_{\Pi} - Z_c + 6 - \Delta A_i;$$

відношення сигнал/шум  $Q_i$ , дБ, з урахуванням (3.3) та формантного параметра  $\Delta A_i$ :

$$Q_i = q_i - L_c - 6 + 10 \cdot \lg S_{\Pi} - Z_{\Pi\Pi} + 6 - \Delta A_i;$$

параметр  $p_i$ , що показує сприйняття формант слуховим апаратом людини (показує ймовірність того, що при даному сигнал/шум  $q_i$  в даній частотній смузі оператор почує звуки мови):

$$p_i(Q_i) = \begin{cases} \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|^2)]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, & Q \leq 0; \\ 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|^2)]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, & Q > 0; \end{cases},$$

де  $i$  – номер частотної смуги,  $i = 1-7$ ;

спектральний індекс артикуляції (зрозумілості) мови  $R_i$ :

$$R_i = p_i \cdot k_i$$

4) Розраховується інтегральний індекс артикуляції мови  $R$ :

$$R = \sum_{i=1}^7 R_i$$

5) Розраховується словесна розбірливість  $W$ :

$$W = \begin{cases} 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - \exp(-11 \cdot R)], & R < 0.15; \\ 1 - \exp\left(\frac{11 \cdot R}{1 + 0.7 \cdot R}\right), & R \geq 0.15; \end{cases}$$

Структурна схема моделі представленої методики зображено на (рис. 3.2):

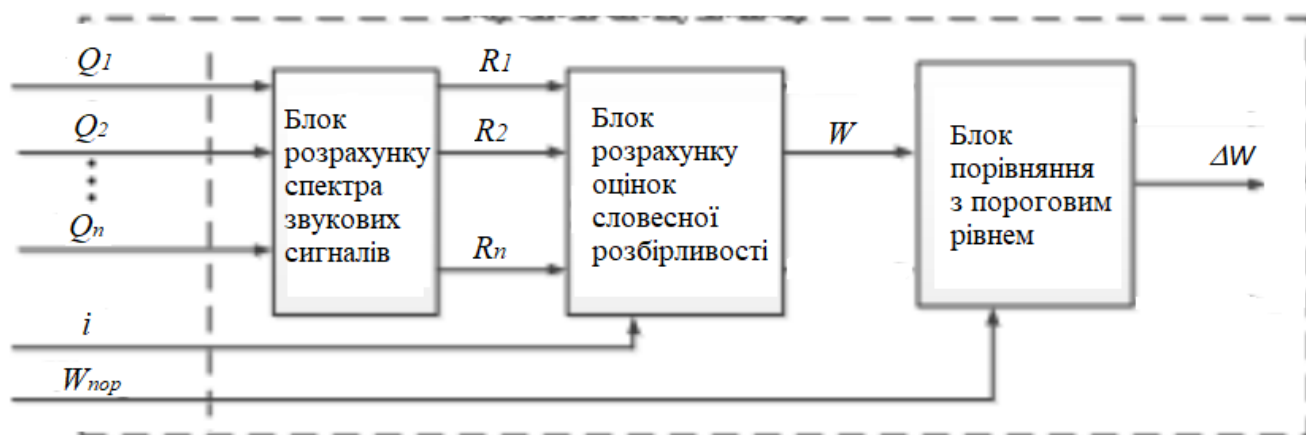


Рисунок 3.2 – Структурна схема розрахунку словесної розбірливості

Результати розрахунку словесної розбірливості із СП через стіни, стелю, підлогу, перегородку, двері та вікно при ненавмисному прослуховуванні та при перехопленні мовної інформації за допомогою засобів акустичної розвідки (направлені мікрофони) приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

|                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| $W_{\text{стінаБезМікрофона}}$       | $2,32079 \times 10^{-3}$ |
| $W_{\text{стінаЗМікрофоном}}$        | 0,02601                  |
| $W_{\text{стеляБезМікрофона}}$       | 0.07085                  |
| $W_{\text{стеляЗМікрофоном}}$        | 0.65522                  |
| $W_{\text{підлогаБезМікрофона}}$     | $1,60694 \times 10^{-8}$ |
| $W_{\text{підлогаЗМікрофоном}}$      | $9,03688 \times 10^{-7}$ |
| $W_{\text{перегородкаБезМікрофона}}$ | $3,98781 \times 10^{-8}$ |
| $W_{\text{перегородкаЗМікрофоном}}$  | $2,25177 \times 10^{-7}$ |
| $W_{\text{вікноБезМікрофона}}$       | 99,10632                 |
| $W_{\text{вікноЗМікрофоном}}$        | 99,59743                 |
| $W_{\text{дверіБезМікрофона}}$       | 97,80146                 |
| $W_{\text{дверіЗМікрофоном}}$        | 99,22417                 |

Таблиця 3.1 – Кінцеві значення словесної розбірливості у відсотках для всіх конструктивних елементів ВП.

Для підвищення точності оцінки (виключення людського фактора при проведенні розрахунків) та прискорення процесу оцінки захищеності ВП від витоків інформації по акустичним каналам процес розрахунку методу оцінки словесної розбірливості мови був автоматизований в програмному середовищі Mathcad (додаток А).

Основні завдання автоматизації:

- аналіз вхідних даних щодо ВП, отриманих від користувача;
- розрахунок словесної розбірливості мови при перехопленні інформації шляхом прослуховування із СП через огорожувальні конструкції з використанням направлених мікрофонів (навмисне прослуховування) та без них (ненавмисне прослуховування);
- видача розрахованих значень розбірливості мови у відсотках.

Вхідними даними для розрахунку виступають:

- параметри ВП: площі конструктивних елементів: стін, стелі, підлоги, перегородки, дверей та вікна ( $\text{м}^2$ );
- наявність або відсутність спрямованого мікрофону;
- тип стін, підлоги, стелі, перегородок, стіни з вікном та стіни з дверима;

Для розрахунку словесної розбірливості необхідно ввести параметри ВП та наявність або відсутність спрямованого мікрофона.

Вихідними даними виступають (%):

- Розбірливість мови при ненавмисному прослуховуванні із СП;
- Розбірливість мови під час перехоплення інформації за допомогою спрямованих мікрофонів.

Для оцінки якості перехопленої розмови необхідно керуватися значеннями розбірливості мови, доведеними експериментально [23, 24]:

- $W \leq 10\%$  – приховування факту ведення переговорів у ВП;
- $W \leq 20 - 30\%$  – приховування предмета переговорів у ВП;
- $W \leq 30 - 40\%$  – приховування змісту переговорів у ВП;
- $W \leq 40\%$  – приховування змісту переговорів у ВП (ненавмисне прослуховування із СП).

У випадку невідповідності словесної розбірливості отриманої за результатами використання приведеної методики встановленим значенням, можна регулювати її величину за допомогою використання існуючої оптимізованої по спектру шумової завади.

Дослідженню різних способів протидії та запобіганню витокам мовної інформації присвячений цілий ряд робіт [56-74], зокрема, наприклад, в статті [63] розглядаються алгоритми формування захисної мовоподібної перешкоди, проводиться їх порівняння з точки зору ефективності маскування мови. В роботі [64] пропонується коефіцієнт розбірливості мови для тестового сигналу, на базі розрахунку якого удосконалено метод оцінки рівня захищеності мовної інформації. В статті [65] пропонується спосіб для захисту мовної інформації, що базується на використанні генератора мовоподібної завади при застосуванні технології оцінки ступеня захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони. В роботі [73] аргументовано двопараметричне задання стану безпеки мовної інформації на об'єкті на основі нормування значень ефективного числа можливих, статистично незалежних каналів витоку, по сукупності яких повинна забезпечуватись словесна розбірливість перехоплюваних повідомлень. При такому підході, ще більшу актуальність набуває оптимізація параметрів шумових завад, забезпечуюча максимально можливе зниження словесної розбірливості мови в можливих каналах її витоку при фіксованому рівні завад (або мінімально можливий рівень завад при фіксованому рівні словесної розбірливості).

Також, за результатами проведених обчислень з роботи [73] впливає, що для заданого інформативного (захищеного) мовного сигналу, існує оптимізована по спектру шумова завада, забезпечуюча мінімальну його розбірливість при фіксованому інтегральному рівні завади: приховування теми розмови може



досягатися при смугах частот включаючих смугу 175-8900 Гц (рис. 4) [73]. Таким чином, в роботі [73] доведено, що зашумлення в смузі частот 175-5600 Гц, в яких працює більшість засобів активного зашумлення не дозволяє досягти гарантованого рівня словесної розбірливості нижче 0.45, тобто створює лише ілюзію захисту інформації при використанні засобів прослуховування зі смугую 10 кГц і більше. В роботі [74] розглянуті значення співвідношень сигнал/шум в октавних смугах, при яких словесна розбірливість становить 0.2, 0.3, 0.4 в діапазоні 180-5600 Гц для різних видів шумів (білий шум, рожевий шум, шум зі спадом спектральної густини 6 дБ, шумова мовоподібна завада). Крім цього, в роботі [73] приведені результати розрахунків оптимізованих по спектру завад по вибраним октавним і спектральним смугам, а також проведений аналіз з урахуванням вагових коефіцієнтів.

Таким чином, в даній роботі, з урахуванням різних підходів, проаналізованих у вищезгаданих роботах пропонується використання в приведеній методиці розглянутої в роботі [73] оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади при заданому значенні словесної розбірливості в діапазоні 175-8900 Гц.

Суть підходу, запропонованого в роботі [73], базується на врахуванні вагових коефіцієнтів, відображаючих вклад даної смуги в словесну розбірливість. Тоді, розподіливши енергію шумового сигналу по частотним смугам у відповідності з цими коефіцієнтами, можна отримати оптимальну з точки зору приведеної методики заваду. Розглянемо математичну модель даної завади.

Обчислення інтегрального рівня сигналу здійснюється шляхом додавання інтегральних рівнів сигналу в октавних смугах:

$$L_{\text{ІНТ}} = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_1} + 10^{0,1 \cdot L_2} + 10^{0,1 \cdot L_3} + 10^{0,1 \cdot L_4} + 10^{0,1 \cdot L_5} + 10^{0,1 \cdot L_6} + 10^{0,1 \cdot L_7})$$

$$L_{\text{ІНТ}} = 10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^7 10^{0,1 \cdot L_i} \right)$$

де  $L_1$  – інтегральний рівень сигналу в  $i$ -й октавній смузі;  $L_{\text{ІНТ}}$  – інтегральний рівень сигналу.

Наприклад, для сигналу з інтегральним рівнем 70 дБ:

$$10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^7 10^{0,1 \cdot L_i} \right) = 70$$

$$\sum_{i=1}^7 10^{0,1 \cdot L_i} = 10^{0,1 L_{\text{інт}}}$$

$$\sum_{i=1}^7 10^{0,1 \cdot L_i} = 10^7$$

Розподілимо дану суму у відповідності з ваговими коефіцієнтами на 7 складових  $L_i$ :

$$L_i = k_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{\text{інт}}}$$

Оримаємо інтегральні рівні сигналів оптимізованої по спектру завади в октавних смугах:

$$L_i = 10 \cdot \log (I_i)$$

Мінімізація отриманого значення оптимальної завади:

Розрахунок словесної розбірливості  $W$  при  $m \cdot L_i$  за умовою не перевищення порогового рівня словесної розбірливості ( $\frac{W}{W_{\text{пор}}} = 1$ );

де  $m$  – коефіцієнт мінімального значення оптимальної завади для порогового рівня словесної розбірливості;

$W_{\text{пор}}$  – пороговий рівень допустимого рівня словесної розбірливості  $W$ ;

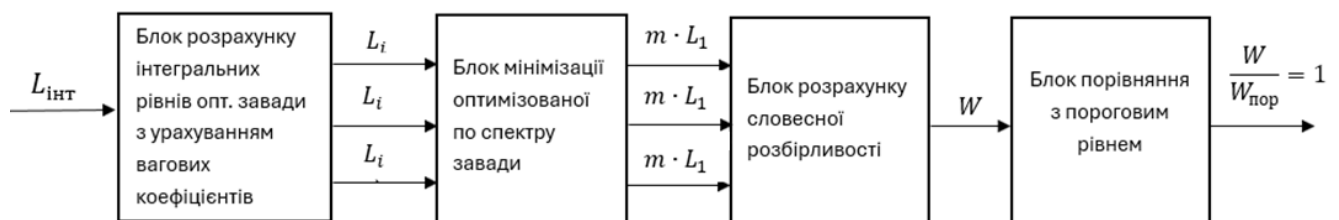


Рисунок 3.3 – Структурна схема розрахунку оптимальної завади

Проведені розрахунки словесної розбірливості при різних значеннях оптимальної завади (100%, 90%, 80%, 70%) на прикладі дверей без використання мікрофона.

Таблиця 3.2

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| $W_{\text{дверіБезМікрофона 100\%}}$ | 0,082  |
| $W_{\text{дверіБезМікрофона 90\%}}$  | 0,81   |
| $W_{\text{дверіБезМікрофона 80\%}}$  | 5,545  |
| $W_{\text{дверіБезМікрофона 70\%}}$  | 23,759 |

Таблиця 3.2 – кінцеві значення словесної розбірливості у відсотках при різних значеннях оптимальної завади (100%, 90%, 80%, 70%) на прикладі дверей без використання мікрофона

Повний процес розрахунку оптимальної завади був автоматизований в програмному середовищі Mathcad (додаток А).

### **3.2 Розрахунок оптимального рівня сигналу в межах контрольованої зони та визначення умов його не отримання за її межами засобами технічної розвідки**

На базі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації приведеної в розділі 2.3 та робіт [75, 76], розрахуємо оптимальний рівень сигналу, що передається між передавачем та приймачем в межах контрольованої зони, а також представимо умови його не отримання приймачем ЗТР (засіб технічної розвідки) за межами контрольованої зони.

Нехай джерело випромінювання – антена радіоелектронного засобу, що характеризується коефіцієнтом підсилення  $G_{\text{пер}}$ , тоді густина потоку потужності на відстані  $D$  в напрямленні максимуму випромінювання буде визначатись як:

$$P_d = \frac{P_{\Sigma} G_{\text{пер}}}{4\pi D^2}, \quad (3.4)$$

де  $P_{\Sigma}$  – потужність джерела випромінювання, Вт;

$G_{\text{пер}}$  – коефіцієнт направленої дії антени радіоелектронного засобу;

$4\pi D^2$  – площа сфери радіуса  $D$ , апроксимуючого фронту електромагнітної хвилі;

$D$  – дальність від радіоелектронного засобу до приймача;

При відомій ефективній площі прийомної антени  $S$ , потужність сигналу на вході прийомної антени буде рівна:

$$P_{\text{с пр}} = S \cdot \Pi_{\text{д}} \quad (3.5)$$

Коефіцієнт підсилення антени  $G_{\text{пр}}$  та її ефективна площа розсіювання  $S$  пов'язані співвідношенням:

$$S = \frac{\lambda^2 G_{\text{пр}}}{4\pi},$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі випромінювання, м.

З урахуванням (3.4) формулу (3.5) можна записати у вигляді:

$$P_{\text{с пр}} = \frac{P_{\Sigma} \lambda^2 G_{\text{пр}} G_{\text{пер}}}{16\pi^2 D^2 K_6}, \quad (3.6)$$

Розглянемо (рис. 3.4), де зображена схема передачі сигналу між передавачем абонента А1 та приймачем абонента А2, що виходить за межі зони R2 та може бути перехоплений приймачами ЗТР А3.1 та А3.2.

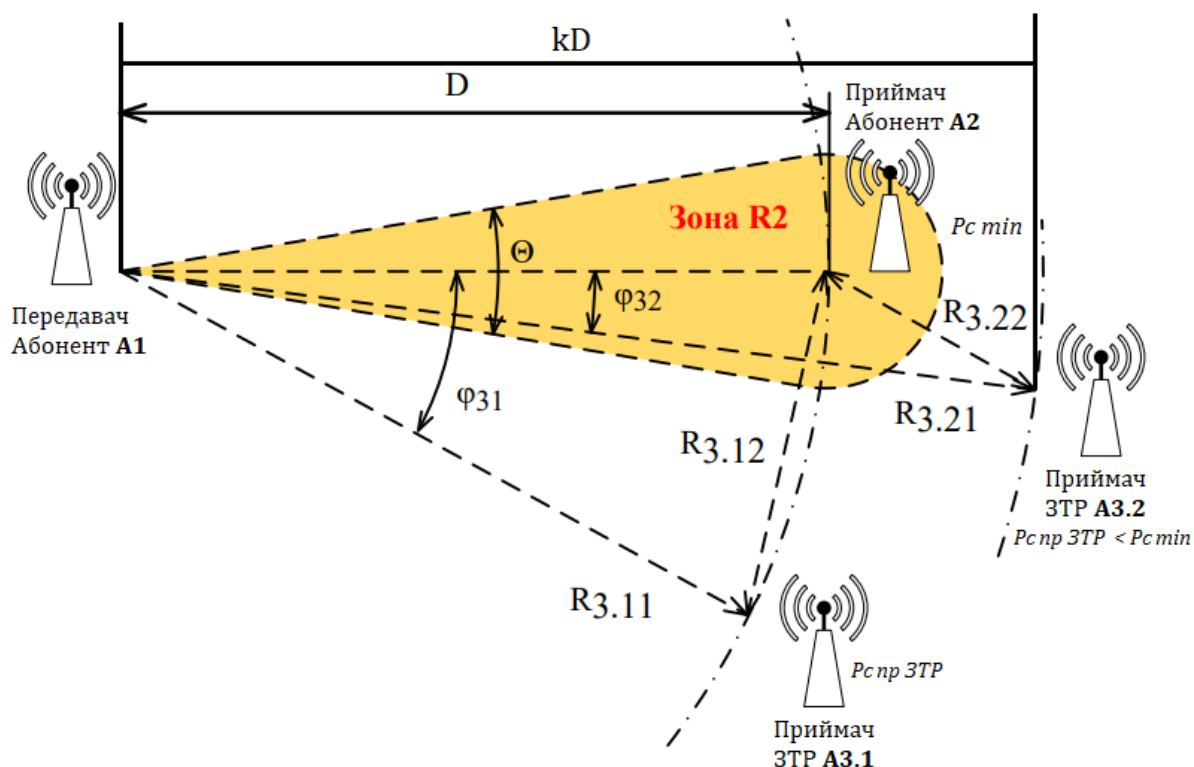


Рисунок 3.4 – Схема перехоплення сигналу, що виходить за межі зони R2  
Введемо коефіцієнт  $k$ , відображаючий відстань між абонентами А1 та А3 через відому відстань  $D$  між абонентами А1 і А2.

При  $k > 1$  приймач ЗТР буде знаходитись за межами контрольованої зони, що означає  $P_{c \text{ пр ЗТР}} < P_{c \text{ min}}$

При  $k < 1$  приймач ЗТР буде знаходитись в межах контрольованої зони (між абонентом А1 та абонентом А2).

Коефіцієнт підсилення антени може бути представлений через її КСД (коефіцієнт спрямованої дії) та ККД (коефіцієнт корисної дії) у наступний спосіб:

$$G = (\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi), \quad (3.7)$$

$$\text{де } D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{(P_{\Sigma} / 4\pi)} - \text{КСД};$$

$$\eta = P_{\Sigma} / P_a - \text{ККД};$$

Отже, з урахуванням (3.7), формула (3.8) може бути представлена у наступному вигляді:

$$G_{\text{пер min}}(\theta, \varphi) = \frac{P_{\text{с пр}} \cdot 16\pi^2 (kD)^2 K_6}{G_{\text{пр max}}(\theta, \varphi) P_{\Sigma} \lambda^2}, \quad (3.8)$$

де  $k$  – коефіцієнт відстані між передавачем абонента А1 і приймачем абонента А2;

$P_{\text{с пр}}$  – потужність сигналу на вході приймальної антени приймача абонента А2;

$G_{\text{пр max}}(\theta, \varphi)$  – максимальний коефіцієнт підсилення антени приймача А2.

Таким чином, при відомих значеннях  $D$  (відстані від передавача абонента А1 до приймача абонента А2) і  $G_{\text{пр max}}(\theta, \varphi)$  (максимальному коефіцієнту підсилення антени приймача), можна розраховувати мінімальну величину сигналу, що передається за допомогою регулювання відповідного коефіцієнта  $G_{\text{пер min}}(\theta, \varphi)$  (мінімальний коефіцієнт підсилення антени передавача).

На (рис.3.5 – 3.7) зображено залежності мінімального коефіцієнта підсилення антени передавача  $G_{\text{пер min}}$  від довжини хвилі випромінювання  $\lambda$  та відстані  $D$  від передавача до приймача.

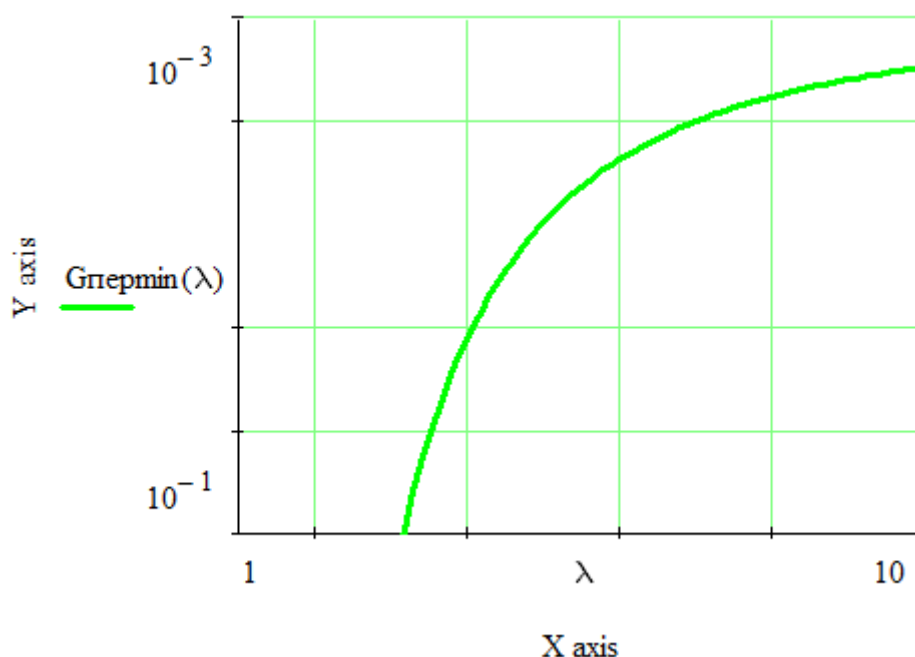


Рисунок 3.5 – Залежність мінімального коефіцієнта підсилення антени передавача  $G_{\text{пер min}}$  від  $\lambda$

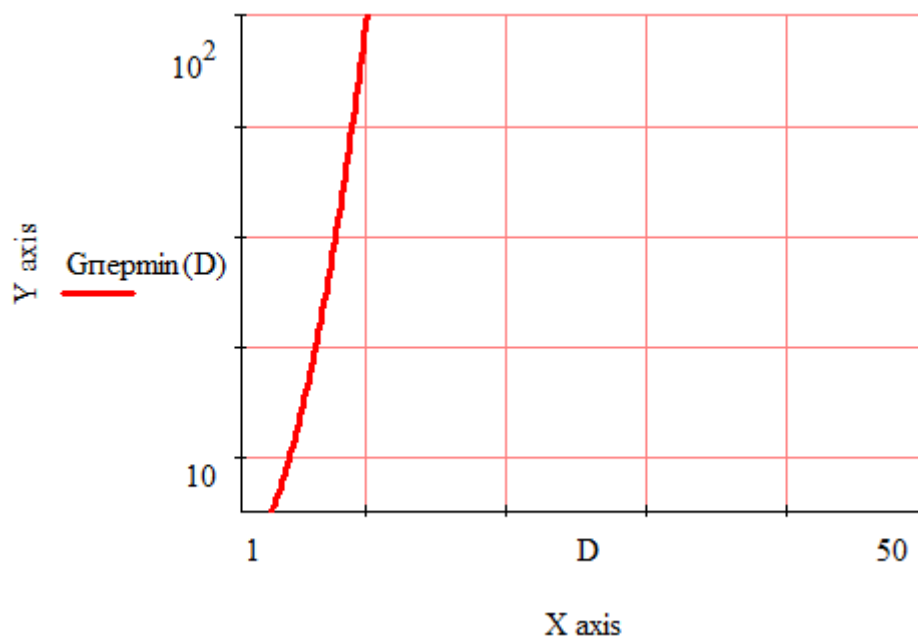


Рисунок 3.6 – Залежність мінімального коефіцієнта підсилення антени передавача  $G_{\text{пер min}}$  від  $D$

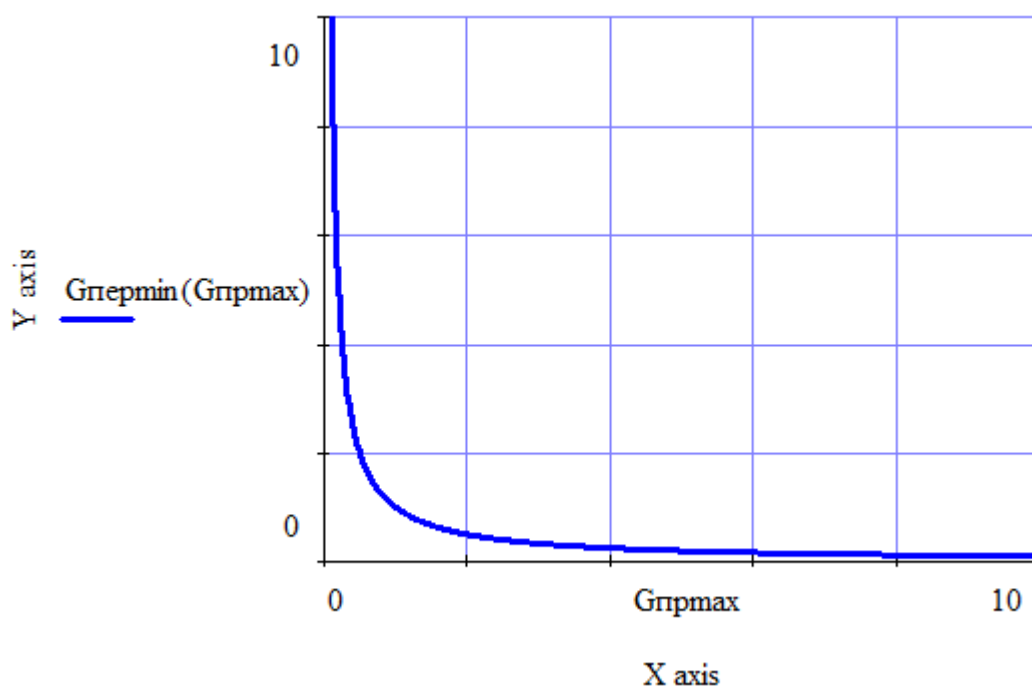


Рисунок 3.7 – Залежність мінімального коефіцієнта підсилення антени передавача  $G_{\text{пер min}}$  від  $G_{\text{пер max}}$

Таким чином, якщо ЗТР буде знаходитись за межами контрольованої зони, тоді значення сигналу передавача не досягне порогового рівня Н ЗТР (рис. 3.8), що забезпечить захист даного вихідного сигналу.

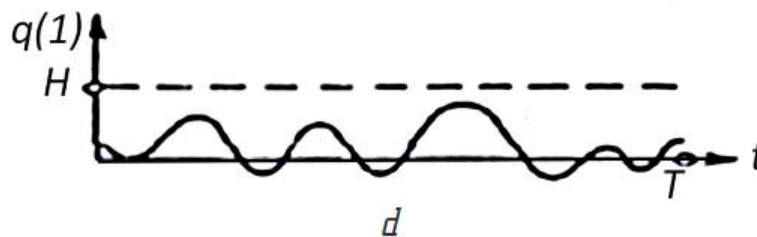


Рисунок 3.8 – Один із випадків при виявленні сигналу на фоні шуму (рис.2.3 *d*) (хоча сигнал присутній, але не перевищує пороговий рівень  $H$  ЗТР, приймається рішення про відсутність сигналу)

На базі (рис. 3.4), розглянемо два випадки виявлення розвідувальним приймачем ЗТР сигналу від абонента А1 та абонента А2.

У першому випадку (сигнал від абонента А1), виходячи з (3.6), потужність сигналу на вході приймальної антени ЗТР:

$$P_{с пр ЗТР} = \frac{P_{\Sigma} \lambda^2 G_{пр ЗТР}(\theta, \varphi_3) G_{пер min}}{16\pi^2 (kD)^2 K_{\delta}}, \quad (3.9)$$

де  $\varphi_3$  може приймати значення  $\varphi_{31}$  та  $\varphi_{32}$ .

Таким чином:

$$\frac{dP_{с пр ЗТР}(k)}{dk} = \lim_{\Delta k \rightarrow 0} \frac{\Delta P_{с пр ЗТР}}{\Delta k}$$

Потужність сигналу на вході приймальної антени приймача абонента А2:

$$P_{с пр} = \frac{P_{\Sigma} \lambda^2 G_{пр} G_{пер min}}{16\pi^2 D^2 K_{\delta}} \quad (3.10)$$

При  $P_{с пр ЗТР} < P_{с пр}$  корисний сигнал на вході приймача ЗТР не буде отриманий за умови:

$$\frac{P_{с пр ЗТР}}{P_{с пр}} < 1 \quad (3.11)$$

Після проведених перетворень, отримаємо залежність:

$$\frac{P_{с пр ЗТР}}{P_{с пр}} = \frac{1}{k^2} \cdot \frac{G_{пр ЗТР}(\theta, \varphi_3)}{G_{пр}},$$



де

$$\frac{1}{k^2} \cdot \frac{G_{\text{пр ЗТР}}(\theta, \varphi_3)}{G_{\text{пр}}} < 1$$

Отже, умова не отримання корисного сигналу приймачем ЗТР від абонента А1 може бути представлена виразом:

$$k > \sqrt{\frac{G_{\text{пр ЗТР}}(\theta, \varphi_3)}{G_{\text{пр}}}}, \quad (3.12)$$

Для другого випадку (сигнал від абонента А2), використовуючи теорему косинусів, отримаємо значення відстані між абонентами А2 та А3:

$$R_3^2 = D^2 + k^2 D^2 - 2DkD \cos \varphi_3$$

Тоді

$$R_3^2 = D^2(1 + k^2 - 2k \cos \varphi_3), \quad (3.13)$$

де  $R_3$  може приймати значення  $R_{31}$  або  $R_{32}$ .

З урахуванням (3.13), потужність сигналу на вході приймальної антени ЗТР:

$$P_{\text{с пр ЗТР}} = \frac{P_{\Sigma} \lambda^2 G_{\text{пр ЗТР}}(\theta, \varphi_3) G_{\text{пр}}}{16\pi^2 R_3^2 K_6} \quad (3.14)$$

Отримаємо:

$$\frac{dP_{\text{с пр ЗТР}}(\varphi_3)}{d\varphi_3} = \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{\Delta P_{\text{с пр ЗТР}}}{\Delta\varphi}$$

Враховуючи умову (3.11), після проведених перетворень, отримаємо залежність:

$$\frac{P_{\text{с пр ЗТР}}}{P_{\text{с пр}}} = \frac{D^2}{R_3^2} \cdot \frac{G_{\text{пр ЗТР}}(\theta, \varphi_3)}{G_{\text{пер min}}}$$

Виходячи з (3.13):

$$\frac{P_{\text{с пр ЗТР}}}{P_{\text{с пр}}} = \frac{1}{1 + k^2 - 2k \cos \varphi_3} \cdot \frac{G_{\text{пр ЗТР}}(\theta, \varphi_3)}{G_{\text{пер min}}}$$

Тоді, з урахуванням (3.11), умова не отримання корисного сигналу приймачем ЗТР від абонента А2 може бути представлена виразом:

$$\frac{1}{1 + k^2 - 2k \cos \varphi_3} \cdot \frac{G_{\text{пр ЗТР}}(\theta, \varphi_3)}{G_{\text{пер min}}} < 1, \quad (3.15)$$

Слід зазначити, що параметри ЗТР будуть кращими за штатну апаратуру, тоді максимальний рівень сигналу на антені приймача ЗТР, з урахуванням максимальної чутливості, яку ще можна характеризувати коефіцієнтом шуму  $N_0$ , рівним відношенню потужності шумів, створених на виході лінійної частини приймача еквівалентом антени (при кімнатній температурі  $T_0 = 290 \text{ K}$ ) і лінійною частиною, до потужності шумів, створених лише еквівалентом антени:

$$P_{\text{с ЗТР max}} = N_0 k_0 T_0 \Pi_{\text{ш}},$$

де  $k_0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/град}$  – стала Больцмана;

$\Pi_{\text{ш}}$  – шумова смуга лінійної частини приймача, Гц;

Таким чином, на базі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації приведений розрахунок оптимального рівня сигналу, що передається між передавачем та приймачем в межах контрольованої зони, а також представлено умови його не отримання приймачем ЗТР за межами контрольованої зони.

Представлено схему (рис. 3.4) передачі сигналу між передавачем абонента А1 та приймачем абонента А2, що виходить за межі зони R2 та може бути перехоплений приймачами ЗТР (А3.1 та А3.2). Введено коефіцієнт  $k$ , відображаючий відстань між абонентами А1 та А3 через відому відстань  $D$  між абонентами А1 і А2. Шляхом аналітичних перетворень, була отримана залежність (3.8) для розрахунку оптимального рівня сигналу між передавачем А1 та приймачем А2 для його передачі в межах контрольованої зони. Також, на основі представленої схеми (рис. 3.4), розглянуто два випадки виявлення розвідувальним приймачем ЗТР (А3.1 та А3.2) сигналу від абонента А1 та абонента А2. На базі розрахованої потужності сигналу на вході приймача ЗТР через введений коефіцієнт  $k$  (3.9) і кут  $\varphi$  (3.14), а також потужності сигналу на вході приймача А2 (3.10), були

представлені залежності (3.12) та (3.15) для умов не отримання корисного сигналу приймачем ЗТР від абонента А1 та абонента А2 за межами контрольованої зони.

### 3.3 Розрахунок оптимального рівня маскуючого шуму для захисту сигналу, в умовах його перехоплення засобами технічної розвідки

На основі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації приведеної в розділі 2.3, робіт [76, 77] та одного з можливих випадків виявлення розвідувальним приймачем сигналу на фоні шуму (рис 2.3 с), розглянемо можливість захисту сигналу, що виходить за межі контрольованої зони та перевищує заданий поріг засобу радіоелектронної розвідки  $H$ .

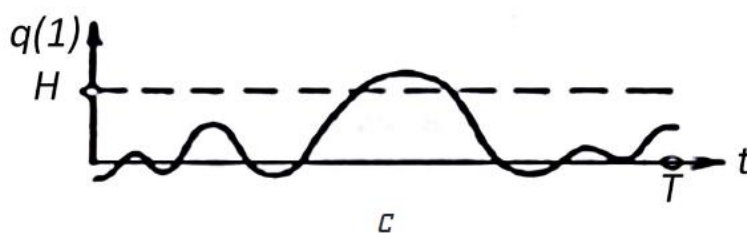


Рисунок 3.9 – Один із можливих варіантів виявлення розвідувальним приймачем сигналу на фоні шуму (рис 2.3 с), при якому сигнал перевищує встановлений поріг  $H$

Найбільш простим і оперативним способом вирішення даної задачі являється активне маскування вихідного сигналу низькочастотним відрізком білого шуму.

Визначимо мінімально необхідний рівень інтенсивності маскуючої завади, яка відрізняється від зовнішнього фонового шуму відносно стабільною інтенсивністю її формування на протязі всього часу життєвого циклу вихідного сигналу для запобігання його перехопленню засобами радіоелектронної розвідки.

Розглянемо структурну схему перехоплення вихідного сигналу засобами технічної розвідки (ЗТР):

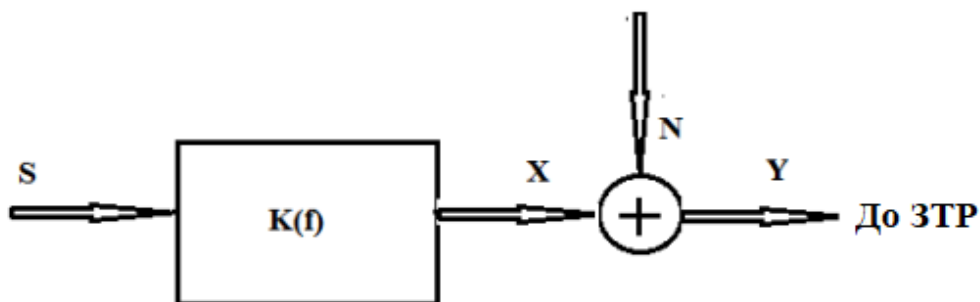


Рисунок 3.10 – Структурна схема перехоплення вихідного сигналу ЗТР

де

- $S$  – тестовий сигнал;
- $Y$  – адитивна суміш вихідного сигналу  $X$  і зовнішнього шуму  $N$ ;
- $K(f)$  – комплексна частотна характеристика огорожуючої конструкції;
- ЗТР – засіб технічної розвідки.

Якщо, маскуючий шум відсутній ( $M = 0$ ) і на виході схеми діє адитивна суміш вихідного сигналу  $X$  із зовнішнім (фоновим) шумом  $N$ :

$$Y = \sqrt{X^2 + N^2}$$

Тоді вихідний сигнал  $X$ :

$$X = \sqrt{Y^2 - N^2} = S \cdot K(f) \quad (3.16)$$

Нехай на виході контрольованої зони встановлено деякий поріг  $H_n$  для ЗТР. Тоді, розглянемо випадок, коли сигнал не захищений і перевищує поріг  $H_n$ , тобто:

$$H - H_n = \Delta H, \quad (3.17)$$

де  $\Delta H$  – перевищення сигналом порогового рівня ЗТР

$$H_n = H - \Delta H \quad (3.18)$$

У цьому випадку, задача активного маскування полягає в задаванні такого мінімального рівня маскуючого сигналу  $M$  при якому  $H_m \geq \Delta H$

Для виконання умови (3.18), сформуємо активну шумову заваду  $M$ . Запишемо відношення сигнал/шум в кінематичній формі для двох значень активної шумової завади при  $M = 0$  і  $M \neq 0$ ;

При  $M = 0$

$$q = \frac{(S \cdot K(f))^2}{N^2}$$

При  $M \neq 0$

$$q_M = \frac{(S \cdot K(f))^2}{N^2 + M^2},$$

де  $q_i$ ,  $q_{M_i}$  – відношення сигнал/шум при відсутності активної маскуючої завади і при наявності активної шумової завади відповідно.

Запишемо відношення виду:

$$\frac{q}{q_M} = 1 + \frac{M^2}{N^2} = \delta Q, \quad (3.19)$$

де  $\delta Q$  – кінематичне значення перевищення сигналом порогового рівня ЗТР.

Із виразу (3.19), кінематичний параметр маскуючої завади, забезпечуючий рівність (3.18), являється мінімально необхідним рівнем інтенсивності маскуючої завади:

$$M = N \sqrt{\frac{q}{q_M} - 1} = N \cdot \sqrt{\delta Q - 1} \quad (3.20)$$

Таким чином, структурна схема перехоплення вихідного сигналу ЗТР з використанням приведеної завади буде мати наступний вигляд:

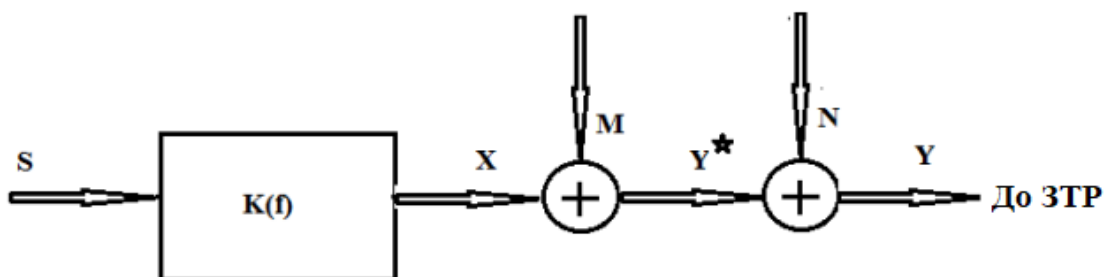


Рисунок 3.11 – Структурна схема перехоплення вихідного сигналу ЗТР з використанням маскуючого шуму М

де

$Y^*$  – адитивна суміш вихідного сигналу  $X$  з маскуючим шумом  $M$ ;

$Y$  – адитивна суміш вихідного сигналу  $X$  з маскуючим шумом  $M$  і зовнішнім шумом  $N$ .

Таким чином, на базі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації, а також одного з можливих варіантів виявлення розвідувальним приймачем сигналу на фоні шуму, представлено можливість запобігання перехопленню сигналу, що виходить за межі контрольованої зони та перевищує заданий поріг  $N$  засобу радіоелектронної розвідки шляхом його маскування спеціально сформованим шумом, приведений алгоритм визначення оптимального рівня інтенсивності маскуючого шуму.

Була отримана залежність (3.20), для визначення оптимального рівня інтенсивності маскуючої завади, яка відрізняється від зовнішнього фоновому шуму відносно стабільною інтенсивністю її формування на протязі всього часу життєвого циклу вихідного сигналу для запобігання його перехопленню засобами радіоелектронної розвідки, представлено структурну схему перехоплення сигналу засобами технічної розвідки, з використанням приведеної завади  $M$ .

### **Висновки до розділу 3**

1. Представлена методика оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації по акустичному каналу. Приведений алгоритм методики та результати розрахунку словесної розбірливості при прослуховуванні мовної інформації із суміжного приміщення через стіни, стелю, підлогу, перегородку, двері та вікно при ненавмисному прослуховуванні (без направленої мікрофона) та при перехопленні мовної інформації за допомогою засобів акустичної розвідки (з направленим мікрофоном).

Розрахунок значень словесної розбірливості заснований на врахуванні параметрів виділеного приміщення (площі та типу конструктивних елементів, наявність або відсутність спрямованого мікрофону) та не потребує використання широкого спектру інструментально-вимірювального обладнання.

У випадку невідповідності словесної розбірливості отриманої за результатами застосування приведеної методики, запропоноване використання в

методиці оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади. Представлено результати розрахунків словесної розбірливості при 100%, 90%, 80%, 70% оптимальної завади.

2. Дістала подальшого розвитку математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації, на основі якої, шляхом врахування одного з випадків виявлення сигналу на фоні шуму, приведений розрахунок оптимального рівня маскуючої завади.

3. Дістала подальшого розвитку математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації, на основі якої, шляхом врахування параметрів передавача та приймача, розрахований оптимальний рівень сигналу для його передачі в межах контрольованої зони, представлені математичні залежності умов не отримання корисного сигналу приймачем засобу радіоелектронної розвідки за межами контрольованої зони.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності та вдосконалення захисту виділених приміщень від витоків інформації технічними каналами. В контексті даної тематики були отримані наступні результати:

1. Удосконалено розрахунковий метод визначення словесної розбірливості шляхом використання оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади, для визначення рівня захищеності мовної інформації виділеного приміщення. Для практичної реалізації удосконаленого методу була представлена методика оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації виділеного приміщення, приведені результати її розрахунків.

Оцінка захищеності мовної інформації виділеного приміщення проводиться шляхом розрахунку відношення сигнал/шуму за огороженнями приміщення та на основі розрахунку значень словесної розбірливості. Розрахунок значень словесної розбірливості заснований на врахуванні параметрів виділеного приміщення (площі та типу конструктивних елементів, наявність або відсутність спрямованого мікрофону) та не потребує використання широкого спектру інструментально-вимірювального обладнання. Також, в роботі приведений зв'язок зазначеної методики з оптико-електронним каналом витоку мовної інформації, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації через віконні отвори та пройоми з використанням оптико-електронної лазерної апаратури дистанційного прослуховування мови. У випадку невідповідності словесної розбірливості отриманої за результатами приведеної методики встановленим значенням, можна регулювати її величину за допомогою використаної в методиці оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади. Процес розрахунку значень словесної розбірливості та оптимальної по критерію мінімуму інтегрального значення завади був автоматизований в програмному середовищі Mathcad.

2. Розширена математична модель оптико-електронного каналу витоку мовної інформації шляхом отримання аналітичних залежностей для розрахунку



мінімального значення словесної розбірливості на виході детектора оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови. Також, в роботі приведений зв'язок даної моделі з представленою методикою оцінки можливості перехоплення та захисту мовної інформації, що дозволяє оцінити можливість перехоплення мовної інформації через віконні отвори та пройми з використанням оптико-електронної апаратури дистанційного прослуховування мови.

3. Дістала подальшого розвитку математична модель радіоелектронного каналу витоку інформації шляхом врахування параметрів передавача та приймача, що дозволило оптимізувати рівень небезпечного сигналу та маскуючого шуму.

У першому випадку, на базі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації, приведений розрахунок оптимального рівня сигналу між передавачем та приймачем для його передачі в межах контрольованої зони, представлені залежності умов не отримання корисного сигналу приймачем засобу радіоелектронної розвідки за межами контрольованої зони.

У другому випадку, на базі моделі радіоелектронного каналу витоку інформації, а також одного з можливих випадків виявлення розвідувальним приймачем сигналу на фоні шуму, представлена можливість запобігання перехопленню сигналу, що виходить за межі контрольованої зони та перевищує заданий поріг засобу радіоелектронної розвідки, шляхом його маскування спеціально сформованим шумом, приведений алгоритм визначення оптимального рівня інтенсивності маскуючої завади.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванченко С.О., Гавриленко О.В., Липський О.А., Шевцов А.С. Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічного захисту інформації: навчальний посібник. Київ, 2016. С.74
2. Рибальський О.В., Хахановський В.Г., Кудінов В.А. Основи інформаційної безпеки та технічного захисту інформації. Посібник для курсантів ВНЗ МВС України. – К.: Вид. Національної академії внутріш. справ, 2012. – 104 с.
3. Гоков О.М. Фізичні основи технічних засобів розвідки: навчальний посібник / О.М. Гоков. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. – 255с.
4. Конахович Г.Ф., Климчук В.П., Паук С.М., Потапов В.Г., Чуприн В.М., Горбунов О.О. Захист інформації в телекомунікаційних системах: Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2009. – 380 с.
5. Місюра С.М, Овсянніков В.В., Мальцева І. Р. Варіант захисту мовної інформації на об'єктах інформаційної діяльності. Збірник наукових праць ВІТІ “Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського” № 2 – 2011. С.84-91
6. Солодкий В.С., Тимофеев В.А. Технические средства защиты информации с ограниченным доступом [Текст]: Монография.- Харьков: ХНУРЭ, 2013.- 228 с.
7. Василюк В. І. Об'єкти захисту інформації. Методи та засоби захисту інформації. Науково-технічний збірник: "Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні" Національного технічного університету України “Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського”. 2006. Вип 2 (13). С.88-94.
8. Бондаренко І.М., Медведєв В.К. Системи радіозв'язку. Кн.1. Системи електрозв'язку: Навч. посібник. – Харків.: ХІ ВПС, 2002. – 181 с.
9. Попович Н. І. Фізичні основи утворення технічних каналів витоку інформації. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. 2015. Вип. 37. С.155-158.

10. Голев Д.В. Методики оцінки інформаційної захищеності телекомунікацій: навч. посіб. / Голев Д.В., Кононович В.Г., Хомич С.В.; за ред. чл.-кор. МАЗ В.Г. Кононовича. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 218 с.
11. Корнієнко, В., Кручинін, О., Плєц, О., Герасіна, О., Тимофєєв, Д. (2021) Кіберфізична система моделювання захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 19-25, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3>
12. Шаповал З. В. Захист об'єктів інформаційної діяльності від лазерних засобів акустичних розвідок : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 125 Кібербезпека / З. В. Шаповал ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2020. – 118 с.
13. Катаєв В.С., Яремчук Ю.Є. Метод активного захисту інформації від зняття лазерними системами акустичної розвідки // *Захист інформації. Захист інформації*. 2019. Том 21. №1. С. 34-39. DOI: DOI: 10.18372/2410-7840.21.13545. (защита)
14. Сінюгін В. В. Метод пасивного перешкоджання витоку інформації оптико–електронним каналом / В. В. Сінюгін, Ю. Є. Яремчук // *Безпека інформації*. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 65–69.
15. Хлапонін Ю. І. Особливості виникнення каналу витоку інформації за рахунок побічного електромагнітного випромінювання і наведення. *Науково-технічний збірник: "Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні" Національного технічного університету України “Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського”*. 2015. Вип 2 (30). С.58-62.
16. Миколенко, В. В, Тамара І Олешко, and Володимир Олексійович Хорошко. "Захист інформації у засобах обчислювальної техніки від витоку за рахунок побічних електромагнітних випромінювань." *Ukrainian Information Security Research Journal* 4, no. 1(10) (May 1, 2002). <http://dx.doi.org/10.18372/2410-7840.4.4593>

17. Baker G., Castillo J. P., Vance E. F. Potential for a unified topological approach to electromagnetic effects protection // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 1992. Vol. 34, Issue 3. P. 267–274. doi: <http://doi.org/10.1109/15.155839>
18. White Donald R. J. A Handbook on Electromagnetic Interference and Compatibility. Gainesville: Don White Consultants, 1987. 870 p.
19. Lucenko, Volodymyr M., and Dmytro O. Progonov. "Protection of computers from side electromagnetic radiation during monitor images formation." Applied Aspects of Information Technology 4, no. 4 (December 21, 2021): 377–85. <http://dx.doi.org/10.15276/aait.04.2021.7>.
20. Миколенко, Вячеслав Володимирович, Тамара Іванівна Олешко, and Володимир Олексійович Хорошко. "Захист інформації у засобах обчислювальної техніки від витоку за рахунок побічних електромагнітних випромінювань." Ukrainian Information Security Research Journal 4, no. 1(10) (May 1, 2002). <http://dx.doi.org/10.18372/2410-7840.4.4593>.
21. Наказ Адміністрації Держспецзв'язку від 19.06.2015 року № 023.
22. On State Secret. Law of Ukraine No. 3855-XII. 21.01.1994. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3855-12>
23. Модель технічних розвідок “ТР-2030”. Київ : Адміністрація Держспецзв'язку, 2016. Кн. 1–5.
24. Павленко Є.В., Степанов М.М. Електромагнітне екранування як спосіб захисту об'єктів інформатизації від витоків інформації технічними каналами // Вісник Хмельницького Національного університету. Технічні науки. 2023, №2. С. 231–239. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-319-1-240-246>
25. Касьянов Ю. І. Визначення впливу шумової завади та звукоізоляції на розбірливість мови формантним методом / Ю. І. Касьянов // Комп'ютерні технології друкарства. – 2014. – № 31. – С. 85–93 (словесна разборчивость формула)

26. Blintsov, V., & Nuzhniy, S. (2019). Improvement of the method for assessing the level of speech information security. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(9 (102)), 28–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185585>
27. Торокин А.А. Инженерно-техническая защита информации: учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям в обл. информ. безопасности / А.А. Торокин. – 2005. – 960 с.
28. Олейников, А. Н. Математическое моделирование акустического канала утечки речевой информации / А. Н. Олейников, О. М. Широкий // *Радиотехника : Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб.* – Харьков, 2014. – Вып. 177. – С. 161 – 171.
29. Springer handbook of acoustics [Text] / ed. T. D. Rossing. - New York : Springer, 2007. - XXIV, 1182 p.: fig.+ 1 CDR. - ISBN 978-0-367-30446-5
30. Сагдеев К.М., Оленев А.А. Математическая модель акустического канала утечки речевой информации // *Фундаментальные исследования.* – 2012. – №6. – С. 668 – 673
31. Dvoryankin S.V., Makarov Yu.K., Khorev A.A. Justifi cation of criteria of effi ciency of protection of speech information // *Protection of information. Insider.* 2007. no. 2. pp. 18–25.
32. Zheleznyak, V.K., Makarov Yu.K., Khorev A.A. Some of the methodological approaches to the assessment of the effectiveness of protection of speech information // *Special technique.* 2000. no. 4. pp. 39-45.
33. Kargashin V.L. Some peculiarities of the passive measures of protection in vibroacoustical the channels of the leakage of speech information // *Special technique.* 2002. no. 5. pp. 55–60.
34. Захист акустичної інформації: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / уклад: А. М. Продеус; - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 101 с.

35. Акустичні інформаційні системи: Електронний ресурс : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізацій «Акустичні мультимедійні технології», «Акустичний моніторинг, біо- та психоакустика» / С.О. Козерук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2.70 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 168 с.
36. Заболотный В.И. Модель отражающей поверхности лазерного канала разведки информации / В.И. Заболотный, Ю.А. Ковальчук // Прикладная радиоэлектроника. – 2007. – Т. 6, №3. С. 432-434
37. Григорьев И.А., Тупота В.И, Разработка модели-оптико-электронного канала утечки акустической информации Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-optiko-elektronnogo-kanalautechki-akusticheskoy-rechevoy-informatsii>.
38. Заболотный В.И. «Безшумный» захист від «лазерних мікрофонів» / В.И. Заболотный, Ю.О. Ковальчук // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т. 8, №3. С. 377-381
39. Партика А. Вплив параметрів акустичного сигналу на амплітуду коливань вібруючої поверхні / А. Партика, Ю. Шевчук // Комп'ютерні технології друкарства. - 2014. - № 32. - С. 90-97. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ktd\\_2014\\_32\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ktd_2014_32_11)
40. Партика А. І. Дослідження впливу параметрів вібруючої поверхні на значення відхилення відбитого лазерного променя // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2014. - № 802.
41. Сягаева О.О. Дослідження та розробка математичної моделі джерела небезпечного сигналу втрати інформації в банківських системах: ма: дис. Харків, 2012. 24 с.
42. Дидковский, В.С. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации : моногр. / В.С. Дидковский, М.В. Дидковская, А.Н. Продеус. – Киев, 2008. – 420 с.

43. Prodeus A., Bukhta K., Morozko P., Serhiienko O., Kotvytskyi I. Shherbenko I. Automated system for subjective evaluation of the Ukrainian speech intelligibility / Proceedings of IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 24-26, 2018 Kyiv, pp. 533-538
44. Prodeus A. On Possibility of Advantages Join of Formant and Modulation Methods of Speech Intelligibility Evaluation. - Proceedings of the VI International Conference MEMSTECH 2010. - Lviv, Polyana, 2010. - Pp.254-259. (методика, форматный метод)
45. Васильев А. В. Автоматизация акустической экспертизы помещений / А. В. Васильев, В. А. Климков, А. Н. Продеус // Electronics and Communications : научно-технический журнал. – 2013. – № 5(76). – С. 63–71.
46. Andriichenko, O. O., & Denysenko, O. I. (2019). Суб'єктивне оцінювання розбірливості зашумленої мови в лекційному приміщенні. Електронна та Акустична Інженерія, 2(3), 55–60. <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2019.2.3.163448>
47. Продеус А.Н. О некоторых особенностях развития объективных методов измерений разборчивости речи. // Электроника и связь, тематич. выпуск "Электроника и нанотехнологии". - 2010. - №2. - С. 217-223.
48. A. M.Prodeus, K. V. Bukhta, P. V. Morozko, O. V. Serhiienko, I. V. Kotvytskyi, and O. O. Dvornyk, "Automated Subjective Assessment of Speech Intelligibility in Various Listening Modes," Microsystems, Electron. Acoust., vol. 23, no. 3, pp. 49–57, Jun. 2018, doi: 10.20535/2523-4455.2018.23.3.130367. (методика и может помеха)
49. А.Н. Продеус, Л.Б. Дронжевская, В.А. Климков, Д.А. Шагитова, «Формантный и формантно-модуляционный методы оценки разборчивости речи. Часть 1. Унификация алгоритмов», Электроника и связь, 2010, №6, часть 2. - С.117- 124.
50. Продеус А.Н., Дронжевская Л.Б., Климков В.А., Шагитова Д.А. Формантный и формантно-модуляционный методы оценки разборчивости речи. Часть 2. Точность и скорость измерений. // Электроника и связь. – 2011. – Т. 64. – №6. – С. 16–24.

51. Продеус А.Н., Гавриленко А.В., Дидковский В.С. Сопоставление версий формантного метода оценки разборчивости речи. - Электроника и связь, тематический выпуск "Проблемы электроники", ч.1, 2008. С.227-231.
52. Ahnert W., Schmidt W. Appendix to EASERA Manual: Fundamentals to Perform Acoustical Measurements. – Berlin, 2006. – P. 1 – 53.
53. Хорев А.А. Контроль эффективности защиты выделенных помещений от утечки речевой информации по техническим каналам // Защита информации. Инсайд 2010 - № 1 - С. 34 - 45.
54. Bradley J.S. Predictors of Speech Intelligibility in Rooms // J. Acoust. Soc. Am. – 1986. – Vol. 80. – No. 3. – P. 837-845
55. Методи розрахунку та оцінювання звукоізоляції складних огорожувальних конструкцій : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.08 / Н. О. Самійленко; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т" . - Київ, 2014. - 21 с. - укр.
56. Ликов Ю. В. Вплив особливостей каналів витоку інформації на розбірливість перехоплених мовних повідомлень / Ю. В. Ликов, Г. Д. Морозова, В. Д. Кукуш // Технологический аудит и резервы производства. - 2017. - № 1(2). - С. 4-8. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv\\_2017\\_1%282%29\\_\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2017_1%282%29__2)
57. Prodeus A., Didkovska M. "Some Aspects of Speech Intelligibility Measuring Under Noise Dominance," European Journal of Advances in Engineering and Technology, 2020, 7(2), pp. 7-12. ISSN: 2394-658X
58. G. Soulodre, N. Popplewell, and J. Bradley, "Combined effects of early reflections and background noise on speech intelligibility," Journal of Sound and Vibration, vol. 135, No.1, pp. 123-133, 1989.
59. K. Rhebergena, "A Speech Intelligibility Index-based approach to predict the speech reception threshold for sentences in fluctuating noise for normal-hearing listeners," J. Acoust. Soc. Am. 117 (4), Pt. 1, April 2005, p.2181-2192.



60. J. Jingsai, L. Ye, Z. Peng, H. Qiuyun, M. Xiaofeng and F. Yanhong, "Adaptive acoustic masking based on spectral envelope," 2016 International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP), Shanghai, China, 2016, pp. 442-446, doi: 10.1109/ICALIP.2016.7846619.
61. Астапеня В.М., Марценюк М. С., Шевченко С. М., Складаний П.М. Р., Марценюк Є. В. (2021). Експериментальні дослідження впливу екранів і засобів захисту на рівень акустичного сигналу у приміщенні із скляними та металопластиковими конструкціями. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 4(12), 117–131. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.12.117131>
62. Harasiuk, A. O., Myronov, M. V., Lozinsky, V. V., Thanh Vy, N., Darchuk, A. V. i Prodeus, A. M. (2019) «Predictive Estimation of Speech Intelligibility Masked by Noise Interference Using Analytical Modeling», Microsystems, Electron. Acoust. Kyiv, Ukraine, 24(5), с. 48–55. doi: 10.20535/2523-4455.2019.24.5.192893.
63. Гордиевич П., Средяк В., Омельчук Я., Порошин И. Формирование защитной речеподобной помехи путем генерации фонемных последовательностей // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення захисту інформації. 2009. С. 129–132.
64. Blintsov, V., & Nuzhniy, S. (2019). Improvement of the method for assessing the level of speech information security. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(9 (102)), 28–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185585>
65. Blintsov, V., Nuzhniy, S., Kasianov Y., Korytskyi, V. (2019). Development of a mathematical model of scrambler-type speech-like interference generator for system of prevent speech information from leaking via acoustic and vibration channels. Technology audit and production reserves. 5. 19-26. doi:10.15587/2312-8372.2019.185133.
66. Конахович Г. Розробка теоретичного методу аналізу захищеності приміщень в залежності від параметрів корисних сигналів, сигналів зашумлення та розбірливості мови / Г. Конахович, О. Голубничий, Р. Одарченко, П. Войдюк //

Безпека інформації. - 2012. - № 2. - С. 54-60. - Режим доступу:  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/bezin\\_2012\\_2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bezin_2012_2_10)

67. Y. Seitzkulov, S. Boranbayev, B. Yergaliyeva, G. Davydov and A. Patapoviche, "Rationale for the method of formation of the combined speech masking signals," 2014 IEEE 8th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Astana, Kazakhstan, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICAICT.2014.7035966.

68. J.Jiang et al., "Adaptive masking system based on Speech Intelligibility Index," 2016 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), Datong, China, 2016, pp. 1038-1042, doi: 10.1109/CISP-BMEI.2016.7852866.

69. Нужний, С. М. (2018). Удосконалена технологія оцінки ступеня захисту мовної інформації. Сучасний захист інформації, 1 (33), 66-73. URL: <https://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/1796>

70. Нужний С.М. До питання використання білого шуму в системах постановки активної завади в віброакустичному каналі [Текст] / С.М. Нужний // Збірник наукових праць НУК. – 2016. – №5(467)

71. Касьянов Ю.І. Оцінювання ефективності генератора реальної мовоподібної завади за критерієм розбірливості мови [Текст] / Ю.І. Касьянов, С.М. Нужний // Вісник національного університету “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2016. – № 852. – С.105–110

72. J. Jingsai, L. Ye, Z. Peng, F. Yanhong, M. Xiaofeng and H. Qiuyun, "Acoustic masking based on time-reversed speech," 2016 IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, Chongqing, China, 2016, pp. 905-909, doi: 10.1109/ITNEC.2016.7560493

73. Григорьев С. В. Оптимизированная по спектру шумовая помеха для акустической (виброакустической) маскировки/С. В. Григорьев, С. А. Колычев // Защита информации. Конфидент, 2003, N N 4.-С.52-57
74. Хорев А.А, Макаров Ю.К. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации // Специальная техника. 2000. № 5. С. 46–56.
75. Pavlenko, Y. “Determination of Signal Level for Protection of Information in Case of Its Interception by Technical Means of Intelligence”. Technology Audit and Production Reserves, vol. 4, no. 1(72), Aug. 2023, pp. 25-28, doi:10.15587/2706-5448.2023.286193.
76. Степанов, М.М, Бойко, Ю.М., Павленко, Є.В «Визначення необхідного рівня сигналу та маскуючого шуму для захисту інформації в умовах її перехоплення технічними засобами», Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, (2), с. 21–27. doi: 10.31891/2219-9365-2023-74-3.
77. Павленко Є.В., Степанов М.М. Маскування вихідного сигналу, визначення мінімально необхідного рівня маскуючого шуму // Вісник Хмельницького Національного університету. Технічні науки. 2023, №4. С. 231–235. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-323-4-231-235>

**ДОДАТОК А**

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК СЛОВЕСНОЇ РОЗБІРЛИВОСТІ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИМАЛЬНОЇ ЗАВАДИ.**

## Автоматизований розрахунок словесної розбірливості виділеного приміщення

Розіб'ємо спектр голосу на 7 частотних смуг:

$$i := 1..7$$

$$f_{H_1} := 100$$

$$f_{B_1} := 175$$

$$f_{H_2} := 175$$

$$f_{B_2} := 355$$

$$f_{H_3} := 355$$

$$f_{B_3} := 710$$

$$f_{H_4} := 710$$

$$f_{B_4} := 1400$$

$$f_{H_5} := 1400$$

$$f_{B_5} := 2800$$

$$f_{H_6} := 2800$$

$$f_{B_6} := 5600$$

$$f_{H_7} := 5600$$

$$f_{B_7} := 8900$$

Де  $f_H$  і  $f_B$  – нижня та верхня граничні частоти  $i$ -ої частотної смуги спектра мовного сигналу

Визначимо середньгеометричну частоту:

$$f_{cp_i} := \sqrt{f_{H_i} \cdot f_{B_i}}$$

Для кожної частотної смуги розрахуємо середньгеометричну частоту:

$$\text{Round}(f_{cp}, 125)_1 = 125$$

$$\text{Round}(f_{cp}, 250)_2 = 250$$

$$\text{Round}(f_{cp}, 500)_3 = 500$$

$$\text{Round}(f_{cp}, 1000)_4 = 1000$$

$$\text{Round}(f_{cp}, 2000)_5 = 2000$$

$$\text{Round}(f_{cp}, 4000)_6 = 4000$$

$$\text{Round}(f_{cp}, 8000)_7 = 8000$$

Для кожної частотної смуги (і від 1 до 7) розрахуємо формантний параметр  $\Delta A_i$ :

$$\Delta A_i := \text{if} \left[ f_{cp_i} \leq 1000, \frac{200}{(f_{cp_i})^{0.43}} - 0.37, 1.37 + \frac{1000}{(f_{cp_i})^{0.69}} \right]$$

$$\Delta A_1 = 24.1080498668$$

$$\Delta A_2 = 18.2713653957$$

$$\Delta A_3 = 13.4246394804$$

$$\Delta A_4 = 9.9005079482$$

$$\Delta A_5 = 6.6827124069$$

$$\Delta A_6 = 4.6631052392$$

$$\Delta A_7 = 3.5797115127$$

Розрахуємо значення вагового коефіцієнта для верхнього  $k(f_{\text{в}i})$  та нижнього  $k(f_{\text{н}i})$  граничної частоти  $i$ -тої частотної смуги спектра мовного сигналу:

$$k(f_{\text{н}i}) := \text{if} \left[ 100 \leq f_{\text{н}i} \leq 400, 2.57 \cdot 10^{-8} \cdot (f_{\text{н}i})^{2.4}, 1 - 1.074 \cdot \exp \left[ -10^{-4} \cdot (f_{\text{н}i})^{1.18} \right] \right]$$

$$k(f_{\text{в}i}) := \text{if} \left[ 100 \leq f_{\text{в}i} \leq 400, 2.57 \cdot 10^{-8} \cdot (f_{\text{в}i})^{2.4}, 1 - 1.074 \cdot \exp \left[ -10^{-4} \cdot (f_{\text{в}i})^{1.18} \right] \right]$$

Для кожної  $i$ -ої частотної смуги визначимо ваговий коефіцієнт  $k(f_{\text{н}i})$ :

$$k_i := k(f_{\text{в}i}) - k(f_{\text{н}i})$$

$$k_1 = 0.0045903394$$

$$k_2 = 0.0277100784$$

$$k_3 = 0.1139979271$$

$$k_4 = 0.2108393527$$

$$k_5 = 0.3074222231$$

$$k_6 = 0.2577611916$$

$$k_7 = 0.0649754258$$

Розрахунок словесної розбірливості для стіни без використання мікрофона:

$$L_c := 70$$

$$i := 1..7$$

$$\Delta := 6$$

$$S_{\text{стіна}} := 19.6$$

$$Z_{\text{стіна}} := 58$$

$$L_{\text{ш}1} := 44$$

$$L_{\text{ш}2} := 44$$

$$L_{\text{ш}3} := 51$$

$$L_{\text{ш}4} := 58$$

$$L_{\text{ш}5} := 64$$

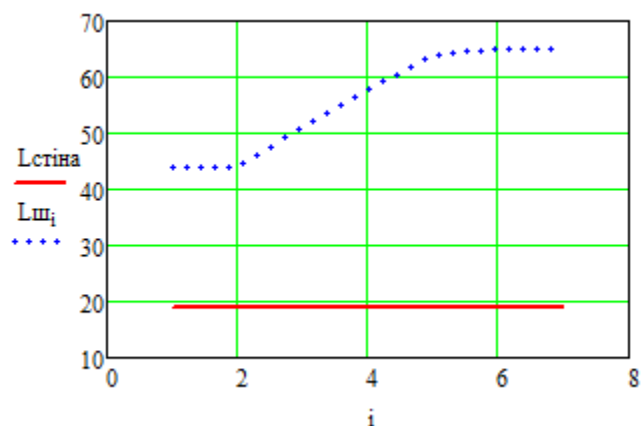
$$L_{\text{ш}6} := 65$$

$$L_{\text{ш}7} := 65$$

$$L_{\text{стіна}} := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{стіна}}) - Z_{\text{стіна}}$$

$$L_{\text{стіна}} = 18.9225607136$$

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{стіна}}) - Z_{\text{стіна}} - L_{\text{ш}i} - \Delta A_i$$



Співвідношення рівнів мовного сигналу і шуму для стіни без використання мікрофону

$$Q_1 = -49.1854891532$$

$$Q_2 = -43.3488046821$$

$$Q_3 = -45.5020787669$$

$$Q_4 = -48.9779472347$$

$$Q_5 = -51.7601516933$$

$$Q_6 = -50.7405445256$$

$$Q_7 = -49.6571507992$$

$$P_i := \text{if} \left[ (Q_i \leq 0), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$$

$$P_1 = 0.0000178068$$

$$P_2 = 0.0001194997$$

$$P_3 = 0.0000589765$$

$$P_4 = 0.0000190276$$

$$P_5 = 0.0000079798$$

$$P_6 = 0.0000109126$$

$$P_7 = 0.0000153277$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$R = 0.00002039$$

$$W_{\text{стінаБезМікрофона}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{-\frac{11 \cdot R}{1 + 0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$$

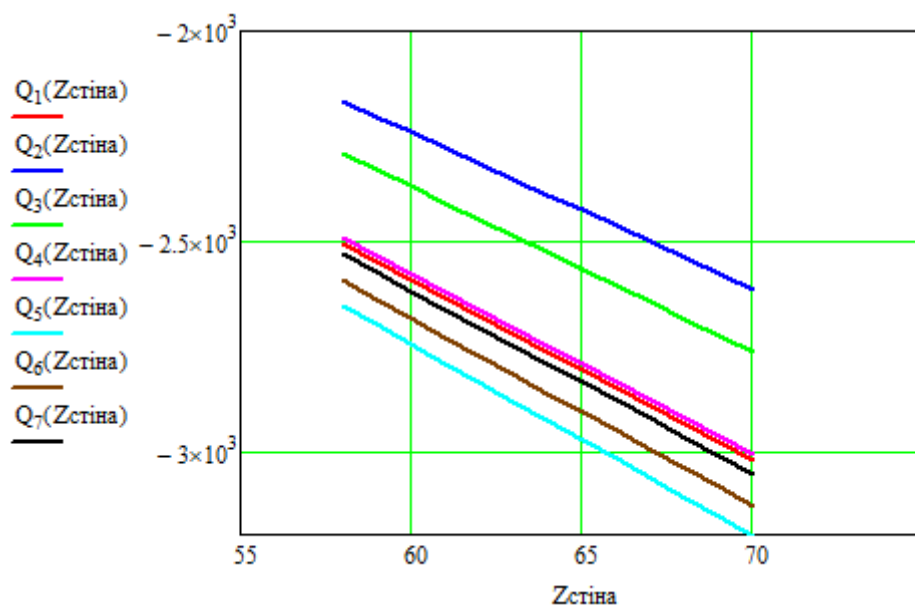
$$W_{\text{стінаБезМікрофона}} = 0.0000232$$

**Розрахунок словесної розбірливості для стіни з використанням мікрофона:**

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{стіна}}) - Z_{\text{стіна}} - L_{\text{ш}_i} - \Delta A_i + \Delta$$

$Q_1 = -43.1854891532$   
 $Q_2 = -37.3488046821$   
 $Q_3 = -39.5020787669$   
 $Q_4 = -42.9779472347$   
 $Q_5 = -45.7601516933$   
 $Q_6 = -44.7405445256$   
 $Q_7 = -43.6571507992$

$Z_{\text{стіна}} := 58 \dots 70$



Залежність сигнал-шуму від звукоізоляції для стіни з використанням мікрофона

$i := 1 \dots 7$   
 $P_i := \text{if} \left( Q_i \leq 0 \right), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$   
 $P_1 = 0.0001260433$   
 $P_2 = 0.0007947092$   
 $P_3 = 0.0004102317$   
 $P_4 = 0.0001348673$   
 $P_5 = 0.0000541839$   
 $P_6 = 0.0000757388$   
 $P_7 = 0.0001080417$   
 $R_i := P_i \cdot k_i$   
 $R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$   
 $R = 0.0001410009$



$$W_{\text{стіна3Мікрофоном}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{-\frac{11 \cdot R}{1 + 0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right]$$

$$W_{\text{стіна3Мікрофоном}} = 0.0002600781$$

**Розрахунок словесної розбірливості для стелі без використання мікрофона:**

$$L_{\text{ш}_1} := 52$$

$$L_{\text{ш}_2} := 52$$

$$L_{\text{ш}_3} := 54$$

$$L_{\text{ш}_4} := 55$$

$$L_{\text{ш}_5} := 57$$

$$L_{\text{ш}_6} := 58$$

$$L_{\text{ш}_7} := 58$$

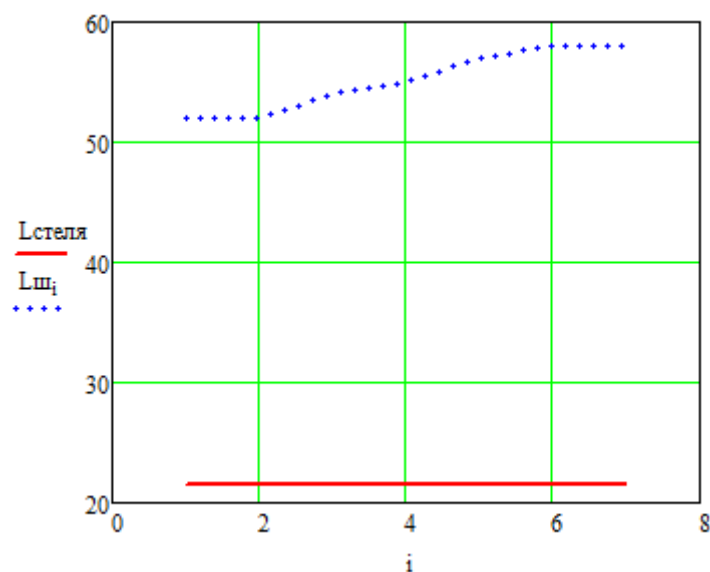
$$Z_{\text{стеля}} := 56$$

$$S_{\text{стеля}} := 35$$

$$mk := 0$$

$$L_{\text{стеля}} := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{стеля}}) - Z_{\text{стіна}}$$

$$L_{\text{стеля}} = 21.4406804435$$



Співвідношення рівнів мовного сигналу і шуму для стелі без використання мікрофону

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{стеля}}) - Z_{\text{стеля}} - L_{\text{ш}_i} - \Delta A_i$$

$$Q_1 = -52.6673694233$$

$$Q_2 = -46.8306849522$$

$$Q_3 = -43.9839590369$$

$$Q_4 = -41.4598275047$$

$$Q_5 = -40.2420319634$$

$$Q_6 = -39.2224247957$$

$$Q_7 = -38.1390310692$$

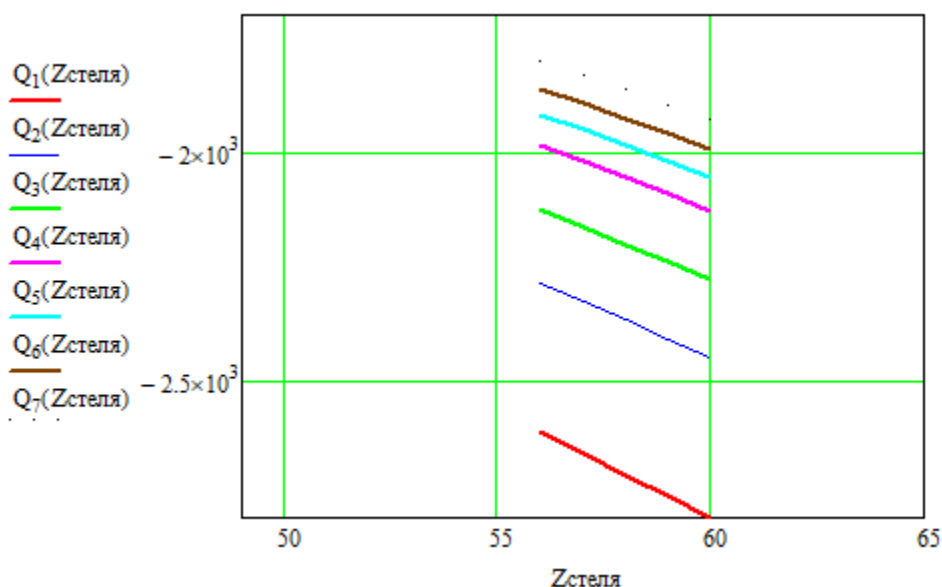
$$i := 1..7$$

$$P_i := \text{if} \left[ (Q_i \leq 0), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$$

$P_1 = 0.0000060771$   
 $P_2 = 0.0000381486$   
 $P_3 = 0.0000970776$   
 $P_4 = 0.0002204505$   
 $P_5 = 0.0003250432$   
 $P_6 = 0.0004476458$   
 $P_7 = 0.0006253286$   
 $R_i := P_i \cdot k_i$   
 $R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$   
 $R = 0.0003145735$   
 $W_{\text{стеляБезМикрофона}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$   
 $W_{\text{стеляБезМикрофона}} = 0.0007084593$   
 $Q_i := L_c - 6 + 10 \log(\text{Стеля}) - Z_{\text{стеля}} - L_{\text{ш}_i} - \Delta A_i$

**Розрахунок словесної розбірливості для стелі з використанням мікрофона:**

$mk := 1$   
 $Q_i := L_c - 6 + 10 \log(\text{Стеля}) - Z_{\text{стеля}} - L_{\text{ш}_i} - \Delta A_i + \Delta$   
 $Q_1 = -46.6673694233$   
 $Q_2 = -40.8306849522$   
 $Q_3 = -37.9839590369$   
 $Q_4 = -35.4598275047$   
 $Q_5 = -34.2420319634$   
 $Q_6 = -33.2224247957$   
 $Q_7 = -32.1390310692$   
 $Z_{\text{стеля}} := 56..60$



Залежність сигнал-шуму від звукоізоляції для стелі з використанням мікрофона

$$i := 1..7$$

$$P_i := \text{if} \left( Q_i \leq 0 \right), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$$

$$P_1 = 0.0000402421$$

$$P_2 = 0.0002696232$$

$$P_3 = 0.0006556313$$

$$P_4 = 0.0013879391$$

$$P_5 = 0.0019640152$$

$$P_6 = 0.0026060482$$

$$P_7 = 0.0034914049$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$R = 0.0018774043$$

$$W_{\text{стеля3Микрофоном}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$$

$$W_{\text{стеля3Микрофоном}} = 0.0065521524$$

**Розрахунок словесної розбірливості для підлоги без використання мікрофона:**

$$L_{ш1} := 76$$

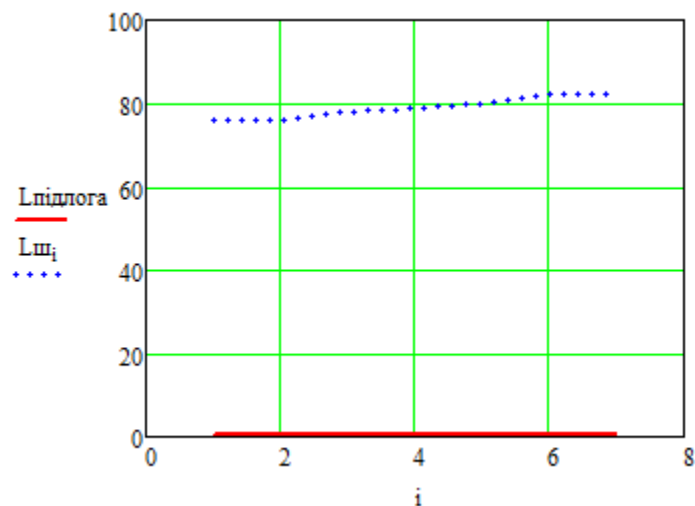
$$L_{ш2} := 76$$

$$L_{ш3} := 78$$

```

Lш4 := 79
Lш5 := 80
Lш6 := 82
Lш7 := 82
Zпідлога := 79
Spідлога := 35
mk := 0
Lпідлога := Lc - 6 + 10log(Sпідлога) - Zпідлога
Lпідлога = 0.4406804435

```



Співвідношення рівнів мовного сигналу і шуму для підлоги без використання мікрофону

```

Qi := Lc - 6 + 10log(Sпідлога) - Zпідлога - Lшi - ΔAi

```

```

Q1 = -99.6673694233

```

```

Q2 = -93.8306849522

```

```

Q3 = -90.9839590369

```

```

Q4 = -88.4598275047

```

```

Q5 = -86.2420319634

```

```

Q6 = -86.2224247957

```

```

Q7 = -85.1390310692

```

```

i := 1..7

```

```

Pi := if (Qi ≤ 0),  $\frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}$ , 1 -  $\frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}$ 

```

```

P1 = 0.0000000001

```

```

P2 = 0.0000000003

```

```

P3 = 0.0000000006

```

```

P4 = 0.0000000011

```

```

P5 = 0.0000000019

```

```

P6 = 0.0000000019

```

```

P7 = 0.0000000024

```

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$R = 0.0000000015$$

$$W_{\text{підлогаБезМікрофона}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$$

$$W_{\text{підлогаБезМікрофона}} = 0.0000000002$$

**Розрахунок словесної розбірливості для підлоги з використанням мікрофона:**

$$mk := 1$$

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{підлога}}) - Z_{\text{підлога}} - L_{\text{ш}_i} - \Delta A_i + \Delta$$

$$Q_1 = -93.6673694233$$

$$Q_2 = -87.8306849522$$

$$Q_3 = -84.9839590369$$

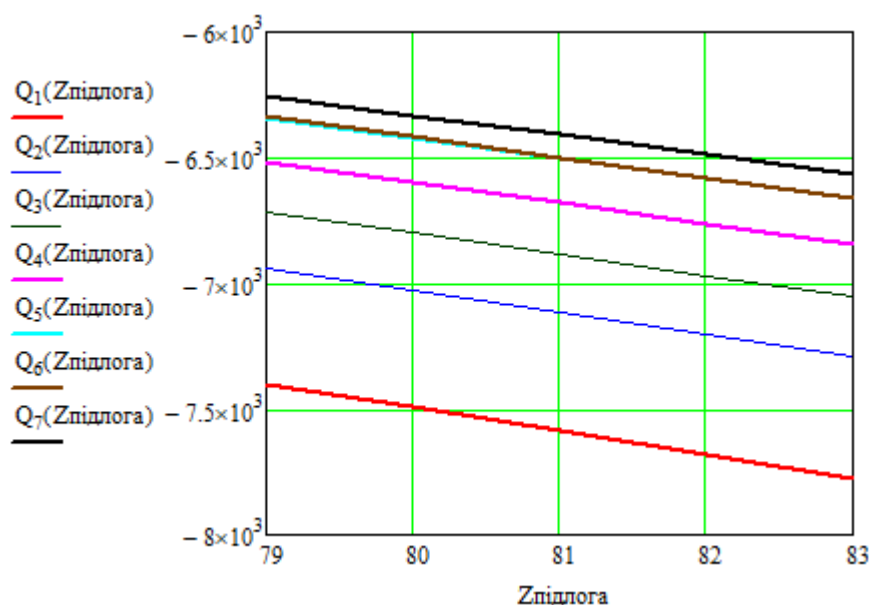
$$Q_4 = -82.4598275047$$

$$Q_5 = -80.2420319634$$

$$Q_6 = -80.2224247957$$

$$Q_7 = -79.1390310692$$

$$Z_{\text{підлога}} := 79..83$$



Співвідношення рівнів мовного сигналу і шуму для підлоги з використанням мікрофону

$$i := 1..7$$

$$P_i := \text{if} \left[ (Q_i \leq 0), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 0.0000000003 \\
 P_2 &= 0.0000000013 \\
 P_3 &= 0.0000000025 \\
 P_4 &= 0.0000000044 \\
 P_5 &= 0.0000000074 \\
 P_6 &= 0.0000000074 \\
 P_7 &= 0.0000000095
 \end{aligned}$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$R = 0.0000000006$$

$$W_{\text{підлогаЗМікрофоном}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right]$$

$$W_{\text{підлогаЗМікрофоном}} = 0.0000000009$$

**Розрахунок словесної розбірливості для перегородки без використання мікрофона:**

$$Z_{\text{перегородка}} := 75$$

$$S_{\text{перегородка}} := 14$$

$$mk := 0$$

$$L_{\text{ш}_1} := 62$$

$$L_{\text{ш}_2} := 62$$

$$L_{\text{ш}_3} := 62$$

$$L_{\text{ш}_4} := 85$$

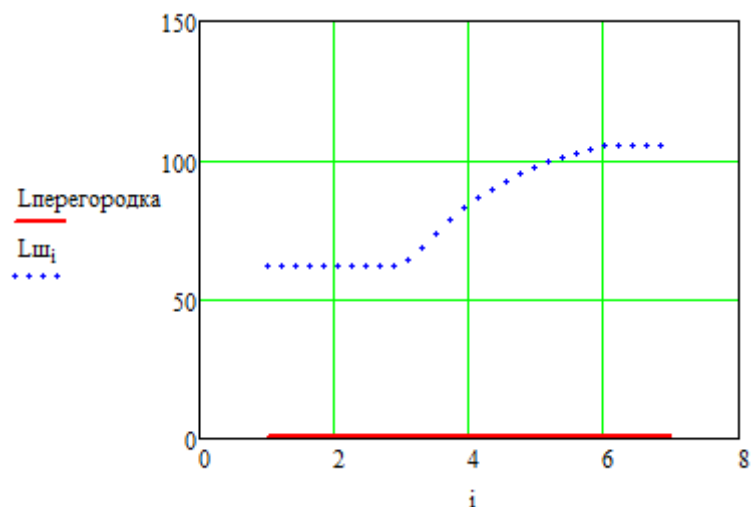
$$L_{\text{ш}_5} := 98$$

$$L_{\text{ш}_6} := 105$$

$$L_{\text{ш}_7} := 105$$

$$L_{\text{перегородка}} := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{перегородка}}) - Z_{\text{перегородка}}$$

$$L_{\text{перегородка}} = 0.4612803568$$



Співвідношення рівнів мовного сигналу і шуму для перегородки без використання мікрофону

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(\text{Сперегородка} - Z_{\text{перегородка}} - L_{ш_i} - \Delta A_i)$$

$$Q_1 = -85.64676951$$

$$Q_2 = -79.8100850389$$

$$Q_3 = -74.9633591237$$

$$Q_4 = -94.4392275914$$

$$Q_5 = -104.2214320501$$

$$Q_6 = -109.2018248824$$

$$Q_7 = -108.118431156$$

$$i := 1..7$$

$$P_i := \text{if} \left[ \left( Q_i \leq 0 \right), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot \left( 27.3 - |Q_i| \right)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot \left( 27.3 - |Q_i| \right)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$$

$$P_1 = 0.0000000021$$

$$P_2 = 0.0000000081$$

$$P_3 = 0.0000000249$$

$$P_4 = 0.0000000003$$

$$P_5 = 0$$

$$P_6 = 0$$

$$P_7 = 0$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$R = 0.0000000031$$

$$W_{\text{перегородкаБезМикрофона}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right]$$

$$W_{\text{перегородкаБезМикрофона}} = 0.0000000004$$

**Розрахунок словесної розбірливості для перегородки з використанням мікрофона:**

$$mk_{..} := 1$$

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(\text{Сперегородка} - Z_{\text{перегородка}} - L_{ш_i} - \Delta A_i + \Delta$$

$$Q_1 = -79.64676951$$

$$Q_2 = -73.8100850389$$

$$Q_3 = -68.9633591237$$

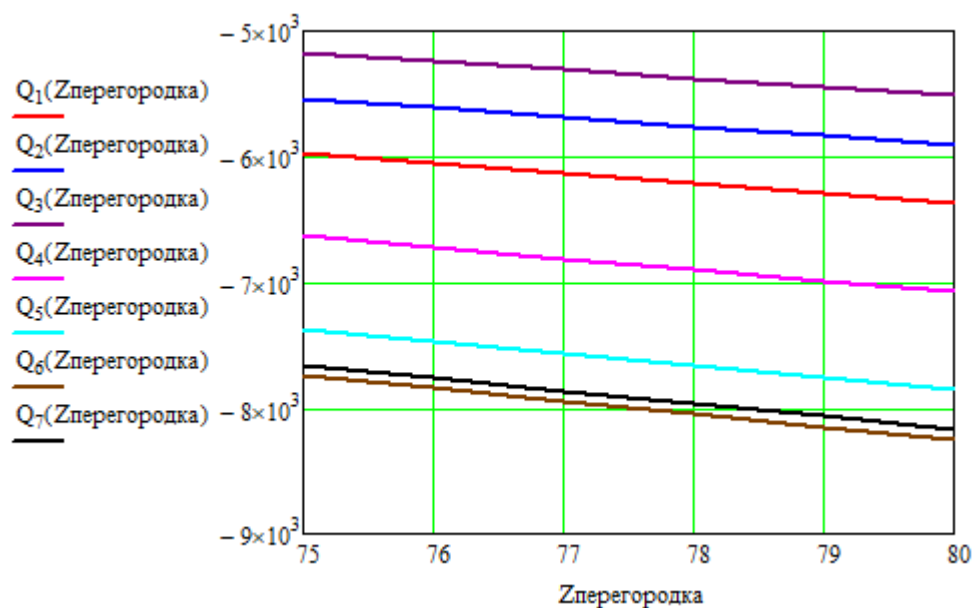
$$Q_4 = -88.4392275914$$

$$Q_5 = -98.2214320501$$

$$Q_6 = -103.2018248824$$

$$Q_7 = -102.118431156$$

$$Z_{\text{перегородка}} := 75..80$$



Залежність сигнал-шуму від звукоізоляції для стінової перегородки з використанням мікрофона

$$\begin{aligned}
 i &:= 1..7 \\
 P_i &:= \text{if} \left( Q_i \leq 0, \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right) \\
 P_1 &= 0.0000000085 \\
 P_2 &= 0.0000000325 \\
 P_3 &= 0.0000000994 \\
 P_4 &= 0.0000000011 \\
 P_5 &= 0.0000000001 \\
 P_6 &= 0 \\
 P_7 &= 0 \\
 R_i &:= P_i \cdot k_i \\
 R &:= \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i) \\
 R &= 0.0000000126 \\
 W_{\text{перегородкаЗМікрофоном}} &:= \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right] \\
 W_{\text{перегородкаЗМікрофоном}} &= 0.0000000023
 \end{aligned}$$

Розрахунок словесної розбірливості для вікна без використання мікрофона:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{вікно}} &:= 5.94 \\
 Z_{\text{вікно}} &:= 31 \\
 n &:= 3 \\
 n &:= 1 \\
 L_{\text{ш}_1} &:= 31 \\
 L_{\text{ш}_2} &:= 31
 \end{aligned}$$



$$L_{ш_3} := 31$$

$$L_{ш_4} := 31$$

$$L_{ш_5} := 31$$

$$L_{ш_6} := 31$$

$$L_{ш_7} := 31$$

$$Z_{H_{II}} := Z_{стїна} - 10 \cdot \log \left[ 1 + \frac{n \cdot S_{вїкно}}{S_{стїна} + n \cdot S_{вїкно}} \cdot 10^{0.1 \cdot (Z_{стїна} - Z_{вїкно})} - 1 \right]$$

$$Z_{H_{II}} = 34.2219608346$$

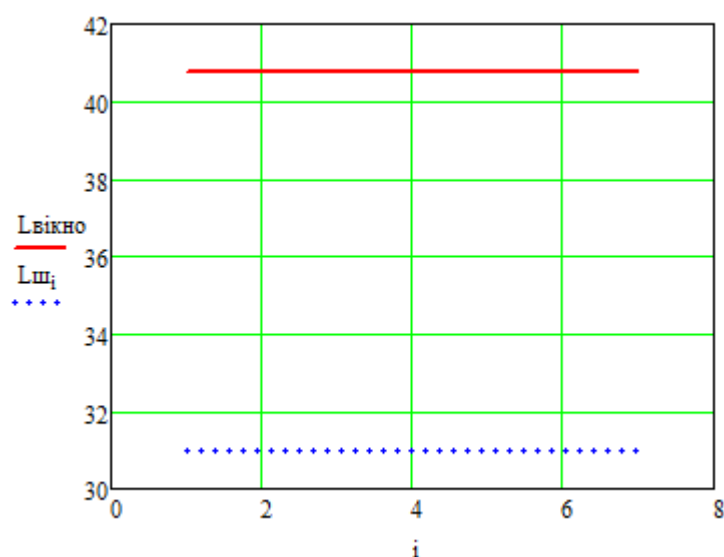
$$i := 1..7$$

$$mk_{...} := 0$$

$$L_{вїкно} := L_c - 6 + 10 \log(S_{вїкно}) - Z_{вїкно}$$

$$L_{вїкно} = 40.7378644498$$

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{стїна}) - Z_{H_{II}} - L_{ш_i} - \Delta A_i$$



Співвідношення рівнів мовного сигналу і шуму для стїни без використання мікрофону

$$Q_1 = -12.4074499879$$

$$Q_2 = -6.5707655168$$

$$Q_3 = -1.7240396015$$

$$Q_4 = 1.8000919307$$

$$Q_5 = 5.0178874721$$

$$Q_6 = 7.0374946397$$

$$Q_7 = 8.1208883662$$

$$i := 1..7$$

$$P_i := \text{if} \left[ \left( Q_i \leq 0 \right), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot \left( 27.3 - |Q_i| \right)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot \left( 27.3 - |Q_i| \right)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$$

$$P_1 = 0.1566631808$$

$$P_2 = 0.2961037558$$

$$P_3 = 0.4453848408$$

$$P_4 = 0.5570741621$$

$$P_5 = 0.6585494421$$

$$P_6 = 0.7169003038$$

$$P_7 = 0.7458878265$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$R = 0.612856489$$

$$W_{\text{ВікноБезМікрофона}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right]$$

$$W_{\text{ВікноБезМікрофона}} = 0.9910632313$$

**Розрахунок словесної розбірливості для вікна з використанням мікрофона:**

$$S_{\text{Вікно}} := 5.94$$

$$Z_{\text{Вікно}} := 31$$

$$n := 3$$

$$Z_{H_{\Pi}} := Z_{\text{Стіна}} - 10 \cdot \log \left[ 1 + \frac{n \cdot S_{\text{Вікно}}}{S_{\text{Стіна}} + n \cdot S_{\text{Вікно}}} \cdot 10^{0.1 \cdot (Z_{\text{Стіна}} - Z_{\text{Вікно}})} - 1 \right]$$

$$Z_{H_{\Pi}} = 34.2219608346$$

$$i := 1..7$$

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{Стіна}}) - Z_{H_{\Pi}} - L_{\text{ш}_i} - \Delta A_i + \Delta$$

$$Q_1 = -6.4074499879$$

$$Q_2 = -0.5707655168$$

$$Q_3 = 4.2759603985$$

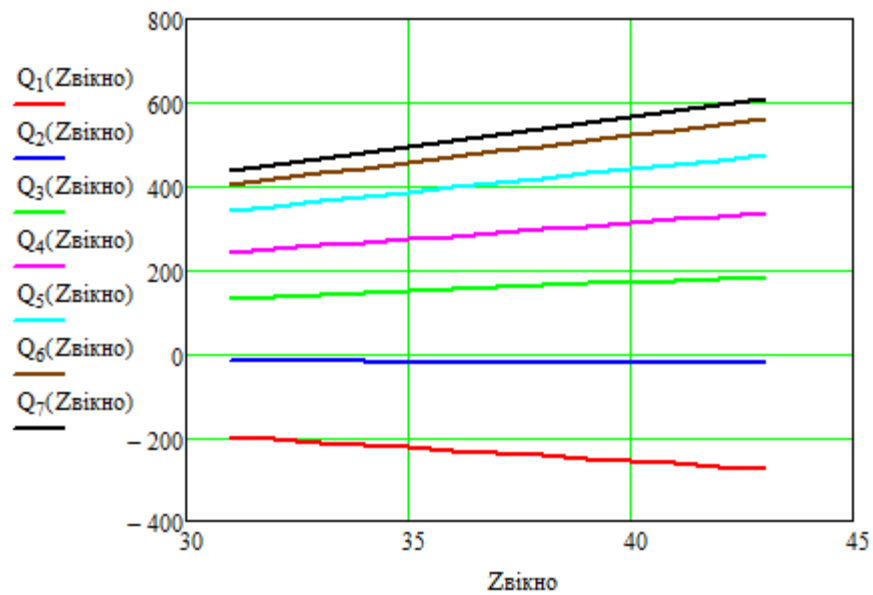
$$Q_4 = 7.8000919307$$

$$Q_5 = 11.0178874721$$

$$Q_6 = 13.0374946397$$

$$Q_7 = 14.1208883662$$

$$Z_{\text{Вікно}} := 31..43$$



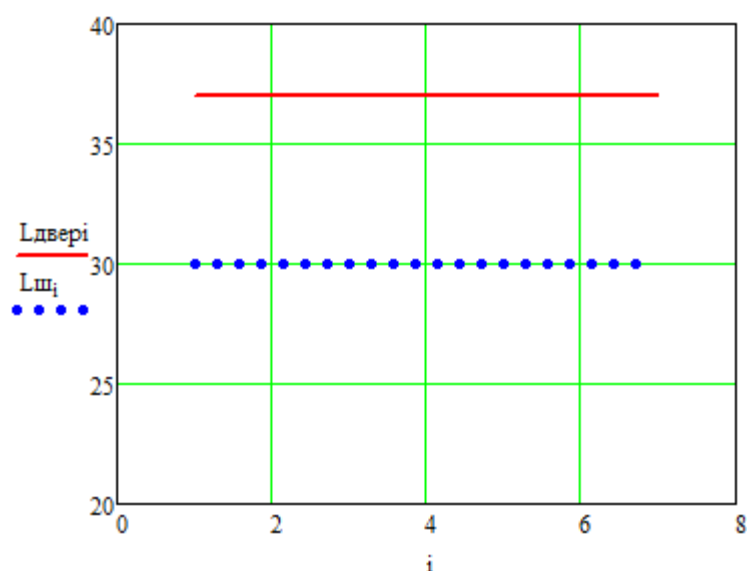
Залежність сигнал-шуму від звукоізоляції вікна з використанням мікрофона

$$\begin{aligned}
 i &:= 1..7 \\
 P_i &:= \text{if} \left( Q_i \leq 0 \right), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot \left( 27.3 - |Q_i| \right)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot \left( 27.3 - |Q_i| \right)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \\
 P_1 &= 0.300725145 \\
 P_2 &= 0.4825697469 \\
 P_3 &= 0.6358737391 \\
 P_4 &= 0.7374823319 \\
 P_5 &= 0.8148053161 \\
 P_6 &= 0.8553063158 \\
 P_7 &= 0.8744878398 \\
 R_i &:= P_i \cdot k_i \\
 R &:= \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i) \\
 R &= 0.7705053182 \\
 W_{\text{вікно3Мікрофоном}} &:= \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right] \\
 W_{\text{вікно3Мікрофоном}} &= 0.9959373509
 \end{aligned}$$

Розрахунок словесної розбірливості для дверей без використання мікрофона:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{двері}} &:= 1.98 \\
 Z_{\text{двері}} &:= 30 \\
 n &:= 1 \\
 L_{\text{ш}_1} &:= 30 \\
 L_{\text{ш}_2} &:= 30
 \end{aligned}$$

$L_{ш_3} := 30$   
 $L_{ш_4} := 30$   
 $L_{ш_5} := 30$   
 $L_{ш_6} := 30$   
 $L_{ш_7} := 30$   
 $Z_{н_п} := Z_{стіна} - 10 \cdot \log \left[ 1 + \frac{n \cdot S_{двері}}{S_{стіна} + n \cdot S_{двері}} \cdot \left[ 10^{0.1 \cdot (Z_{стіна} - Z_{двері})} - 1 \right] \right]$   
 $Z_{н_п} = 40.306$   
 $i := 1..7$   
 $mk_{...} := 0$   
 $L_{двері} := L_c - 6 + 10 \log(S_{двері}) - Z_{двері}$   
 $L_{двері} = 36.9666519026$   
 $Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{стіна}) - Z_{н_п} - L_{ш_i} - \Delta A_i$   
 $Q_1 = -17.4917448406$



Співвідношення рівнів мовного сигналу і шуму для дверей без використання мікрофону

$Q_2 = -11.6550603695$   
 $Q_3 = -6.8083344543$   
 $Q_4 = -3.2842029221$   
 $Q_5 = -0.0664073807$   
 $Q_6 = 1.953199787$   
 $Q_7 = 3.0365935134$   
 $i := 1..7$   
 $P_i := \text{if} \left[ (Q_i \leq 0), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right]$   
 $P_1 = 0.0768504753$   
 $P_2 = 0.1717467631$   
 $P_3 = 0.2894466376$   
 $P_4 = 0.3952495119$

$$P_5 = 0.4986502999$$

$$P_6 = 0.5620233111$$

$$P_7 = 0.5968649602$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$R = 0.458$$

$$W_{\text{дверіБезМікрофона}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right]$$

$$W_{\text{дверіБезМікрофона}} = 0.978$$

**Розрахунок словесної розбірливості для дверей з використанням мікрофона:**

$$S_{\text{двері}} := 1.98$$

$$Z_{\text{двері}} := 30$$

$$n := 1$$

$$\Delta_1 := 6$$

$$\Delta_2 := 6$$

$$\Delta_3 := 6$$

$$\Delta_4 := 6$$

$$\Delta_5 := 6$$

$$\Delta_6 := 6$$

$$\Delta_7 := 6$$

$$Z_{H_{\Pi}} := Z_{\text{стіна}} - 10 \cdot \log \left[ 1 + \frac{n \cdot S_{\text{двері}}}{S_{\text{стіна}} + n \cdot S_{\text{двері}}} \cdot \left[ 10^{0.1 \cdot (Z_{\text{стіна}} - Z_{\text{двері}})} - 1 \right] \right]$$

$$Z_{H_{\Pi}} = 40.306$$

$$i := 1..7$$

$$Q_i := L_c - 6 + 10 \log(S_{\text{стіна}}) - Z_{H_{\Pi}} - L_{ш_i} - \Delta A_i + \Delta_i$$

$$Q_1 = -11.492$$

$$Q_2 = -5.655$$

$$Q_3 = -0.808$$

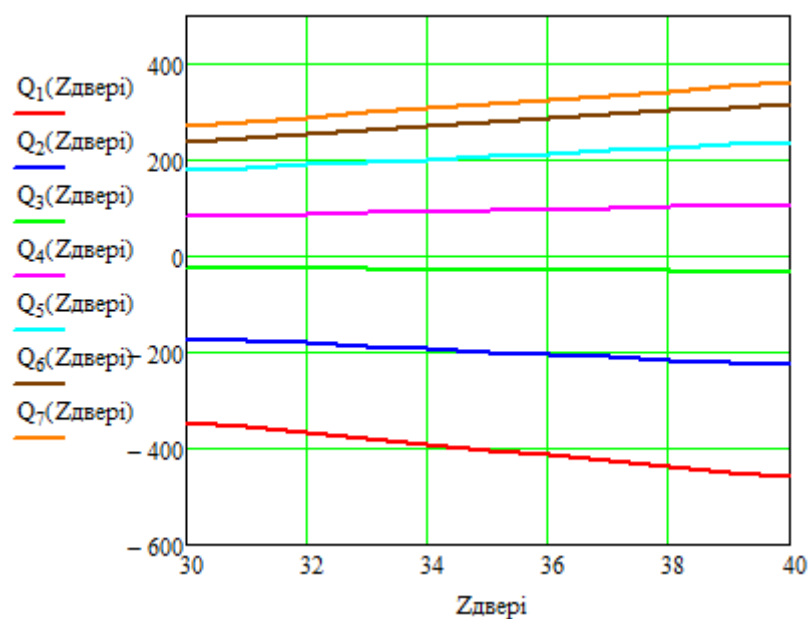
$$Q_4 = 2.716$$

$$Q_5 = 5.934$$

$$Q_6 = 7.953$$

$$Q_7 = 9.037$$

$$Z_{\text{двері}} := 30..40$$



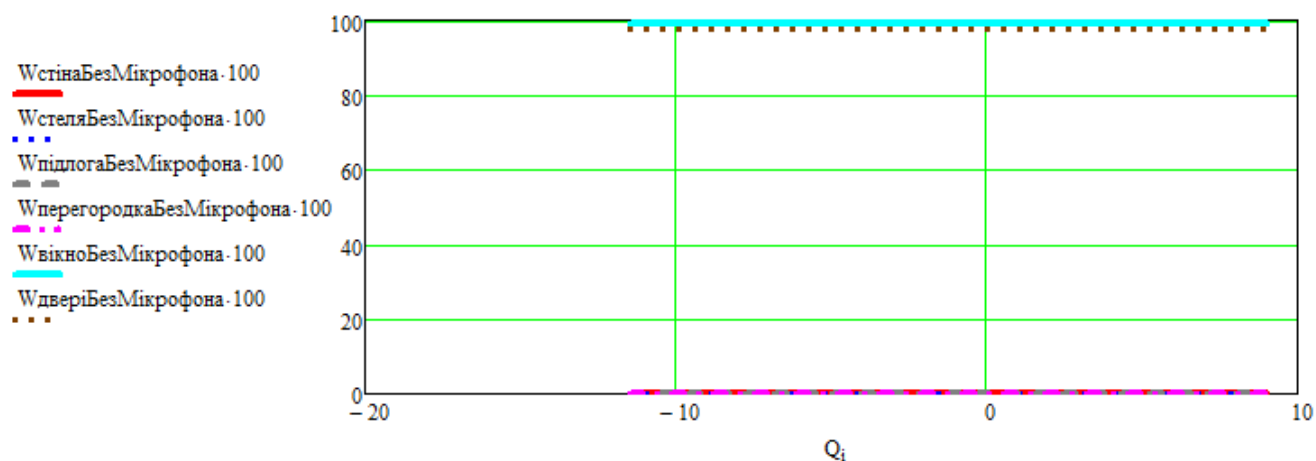
Залежність величини сигнал-шуму від звукоізоляції для дверей з використанням мікрофона

$$\begin{aligned}
 i &:= 1..7 \\
 P_i &:= \text{if} \left( Q_i \leq 0 \right), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \\
 P_1 &= 0.1751346686 \\
 P_2 &= 0.3224743395 \\
 P_3 &= 0.4749434548 \\
 P_4 &= 0.5865966478 \\
 P_5 &= 0.6856632542 \\
 P_6 &= 0.7415129258 \\
 P_7 &= 0.7690410407 \\
 R_i &:= P_i \cdot k_i \\
 R &:= \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i) \\
 R &= 0.63945009 \\
 W_{\text{дверіЗМікрофоном}} &:= \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot \left[ 1 - e^{(-11 \cdot R)} \right] \right] \\
 W_{\text{дверіЗМікрофоном}} &= 0.992
 \end{aligned}$$

Кінцеві значення словесної розбірливості у відсотках для всіх конструктивних елементів ВП:

|               |                          |   |    |                         |
|---------------|--------------------------|---|----|-------------------------|
| result := 100 | WстінаБезМікрофона       | = |    | 0                       |
|               | WстінаЗМікрофоном        |   | 0  | $2.32079 \cdot 10^{-3}$ |
|               | WстіляБезМікрофона       |   | 1  | 0.02601                 |
|               | WстіляЗМікрофоном        |   | 2  | 0.07085                 |
|               | WпідлогаБезМікрофона     |   | 3  | 0.65522                 |
|               | WпідлогаЗМікрофоном      |   | 4  | $1.60694 \cdot 10^{-8}$ |
|               | WперегородкаБезМікрофона |   | 5  | $9.03688 \cdot 10^{-8}$ |
|               | WперегородкаЗМікрофоном  |   | 6  | $3.98781 \cdot 10^{-8}$ |
|               | WвікноБезМікрофона       |   | 7  | $2.25177 \cdot 10^{-7}$ |
|               | WвікноЗМікрофоном        |   | 8  | 99.10632                |
|               | WдверіБезМікрофона       |   | 9  | 99.59374                |
|               | WдверіЗМікрофоном        |   | 10 | 97.80146                |
|               |                          |   | 11 | 99.22417                |

Залежність величини словесної розбірливості від сигнал/шуму для всіх елементів конструкції:



Залежність величини словесної розбірливості від сигнал/шуму  
для всіх елементів конструкції

# Автоматизований розрахунок оптимальної завади для регулювання словесної розбірливості

```

Lинт := 70
i := 1..7
Ii := ki · 100.1·Lинт
I1 := k1 · 100.1·Lинт
I2 := k2 · 100.1·Lинт
I3 := k3 · 100.1·Lинт
I4 := k4 · 100.1·Lинт
I5 := k5 · 100.1·Lинт
I6 := k6 · 100.1·Lинт
I7 := k7 · 100.1·Lинт
Lи := 10 · log(Ii)
Lинт := 10 · log(100.1·L1 + 100.1·L2 + 100.1·L3 + 100.1·L4 + 100.1·L5 + 100.1·L6 + 100.1·L7)
Lинт := 10 · log(∑i=17 100.1·Li)
Lинт = 69.9444761419
Li := 10 · log(Ii)
L1 = 46.6184479768
L2 = 54.4263775483
L3 = 60.5689695438
L4 = 63.2395167418
L5 = 64.8773525876
L6 = 64.1121753083
L7 = 58.1274913422

```

Розрахунок словесної розбірливості при 100% оптимальної завади для дверей без використання мікрофону:

L<sub>ш1</sub> := L<sub>i</sub>

L<sub>ш1</sub> =

|               |
|---------------|
| 46.6184479768 |
| 54.4263775483 |
| 60.5689695438 |
| 63.2395167418 |
| 64.8773525876 |
| 64.1121753083 |
| 58.1274913422 |



$$S_{двері} := 1.98$$

$$Z_{двері} := 30$$

$$n := 1$$

$$Z_{нп} := Z_{стіна} - 10 \cdot \log \left[ 1 + \frac{n \cdot S_{двері}}{S_{стіна} + n \cdot S_{двері}} \cdot 10^{0.1 \cdot (Z_{стіна} - Z_{двері})} - 1 \right]$$

$$Q_i := L_i - 6 + 10 \log(S_{стіна}) - Z_{нп} - L_{ш_i} - \Delta A_i$$

$$P_i := \text{if} \left( Q_i \leq 0, \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right)$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$W_{дверіБезМікрофона100\%} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$$

$$W_{дверіБезМікрофона100\%} = 0.000816007$$

**Розрахунок словесної розбірливості при 90% оптимальної завади для дверей без використання мікрофону:**

$$L_{ш_i} := 0.9 \cdot L_i$$

$$L_{ш_i} =$$

|               |
|---------------|
| 41.9566031791 |
| 48.9837397935 |
| 54.5120725894 |
| 56.9155650676 |
| 58.3896173288 |
| 57.7009577775 |
| 52.314742208  |

$$Q_i := L_i - 6 + 10 \log(S_{стіна}) - Z_{нп} - L_{ш_i} - \Delta A_i$$

$$P_i := \text{if} \left( Q_i \leq 0, \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right)$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$W_{дверіБезМікрофона90\%} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$$

$$W_{дверіБезМікрофона90\%} = 0.0081019363$$

Розрахунок словесної розбірливості при 80% оптимальної завади для дверей без використання мікрофону:

$$L_{ш_1} := 0.8 \cdot L_i$$

$$L_{ш_1} =$$

|               |
|---------------|
| 37.2947583815 |
| 43.5411020386 |
| 48.455175635  |
| 50.5916133934 |
| 51.90188207   |
| 51.2897402467 |
| 46.5019930738 |

$$Q_i := L_i - 6 + 10 \log(\text{Стіна}) - Z_{н_п} - L_{ш_1} - \Delta A_i$$

$$P_i := \text{if} \left( (Q_i \leq 0), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right)$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$W_{\text{дверіБезМікрофона80\%}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$$

$$W_{\text{дверіБезМікрофона80\%}} = 0.0554456605$$

Розрахунок словесної розбірливості при 70% оптимальної завади для дверей без використання мікрофону:

$$L_{ш_1} := 0.7 \cdot L_i$$

$$Q_i := L_i - 6 + 10 \log(\text{Стіна}) - Z_{н_п} - L_{ш_1} - \Delta A_i$$

$$P_i := \text{if} \left( (Q_i \leq 0), \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}}, 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp \left[ -4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |Q_i|)^2 \right]}{1 + 10^{0.1 \cdot |Q_i|}} \right)$$

$$R_i := P_i \cdot k_i$$

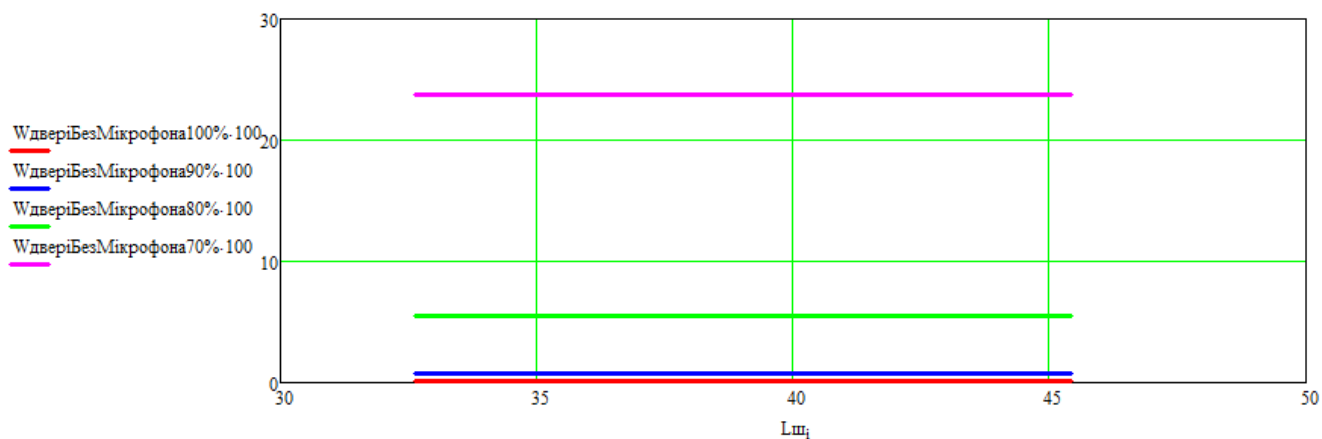
$$R := \sum_{i=1}^7 (P_i \cdot k_i)$$

$$W_{\text{дверіБезМікрофона70\%}} := \text{if} \left[ R \geq 0.15, 1 - e^{\frac{-11 \cdot R}{1+0.7 \cdot R}}, 1.54 \cdot R^{0.25} \cdot [1 - e^{(-11 \cdot R)}] \right]$$

$$W_{\text{дверіБезМікрофона70\%}} = 0.2375896688$$

Кінцеві значення словесної розбірливості у відсотках при різних значеннях оптимальної завади (70%, 80%, 90%, 100%):

$$\text{result} := 100 \cdot \begin{pmatrix} W_{\text{дверіБезМікрофона}100\%} \\ W_{\text{дверіБезМікрофона}90\%} \\ W_{\text{дверіБезМікрофона}80\%} \\ W_{\text{дверіБезМікрофона}70\%} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0816007001 \\ 0.8101936296 \\ 5.5445660548 \\ 23.7589668825 \end{pmatrix}$$



Залежність величини словесної розбірливості при 100%, 90%, 80%, 70% оптимальної завади на прикладі дверей без використання мікрофону

## **ДОДАТОК Б**

### **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

## Основні публікації

1. Pavlenko, Y. "Determination of Signal Level for Protection of Information in Case of Its Interception by Technical Means of Intelligence". *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 4, no. 1(72), Aug. 2023, pp. 25-28, doi:10.15587/2706-5448.2023.286193.
2. Павленко Є.В., Степанов М.М. Маскування вихідного сигналу, визначення мінімально необхідного рівня маскуючого шуму // Вісник Хмельницького Національного університету. Технічні науки. 2023, №4. С. 231–235. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-323-4-231-235>
3. Павленко Є.В., Степанов М.М. Електромагнітне екранування як спосіб захисту об'єктів інформатизації від витоків інформації технічними каналами // Вісник Хмельницького Національного університету. Технічні науки. 2023, №2. С. 231–239. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-319-1-240-246>

## Матеріали конференцій

4. Pavlenko Y. Technical channels of information leakages / Pavlenko Y. // *Proceedings of 6th International scientific and practical conference: «Global science: prospects and innovations»*. Cognum Publishing House - Liverpool, 2024. – Pp. 92-95.
5. Pavlenko Y. Methods of protecting speech information from leakages via technical channels / Pavlenko Y. // *Proceedings of 6th International scientific and practical conference: «Modern research in science and education»*. BoScience Publisher - Chicago, 2024. – Pp. 116-118.
6. Pavlenko Y. Stages of protection of speech information against leakage via technical channels / Pavlenko Y. // *Proceedings of 6th International scientific and practical conference: «Old and new technologies of learning development in modern conditions»*. - Berlin, 2024. – Pp. 239-240.

**Апробація результатів дисертації.**

Окремі положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 3 наукових конференціях: The 6th International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations” (Liverpool, 2024), The 6th International scientific and practical conference “Modern research in science and education” (Chicago, 2024), The 6th International scientific and practical conference “Old and new technologies of learning development in modern conditions” (Berlin, 2024).