

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ДЗЯНИЙ НАЗАРІЙ РОСТИСЛАВОВИЧ

УДК 316.774:004.056.5:681.534

ДИСЕРТАЦІЯ
ЗАХИСТ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ
АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ

125 Кібербезпека та захист інформації

(шифр і назва спеціальності)

12 «Інформаційні технології»

(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ /Дзяний Назарій Ростиславович/

Науковий керівник: Дудикевич Валерій Богданович, д.т.н, професор

Львів – 2024

АНОТАЦІЯ

Дзяний Н.Р. **Захист мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 «Кібербезпека та захист інформації». – ІКТА Національний університет «Львівська політехніка» України, Львів, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання підвищення ефективності методів пасивного захисту мовної інформації від зчитування оптоелектронним каналом. Моделювання параметрів захисних властивостей скла від лазерних систем акустичної розвідки в залежності від концентрації основних елементів, а також створення на склі додаткових шарів протидії лазерному опроміненню разом з використанням різнопланового дизайну вікон, дозволять підвищити рівень захищеності приміщень від зняття мовної інформації лазерними системами акустичної розвідки.

Витік конфіденційної інформації залишається однією з найсерйозніших проблем у сфері протидії промислового шпигунству. Лазерно-локаційне зондування віконних шибок та інших відбиваючих поверхонь робить можливим відтворення розмови, що ведеться під час конфіденційних переговорів, виступів тощо. Протягом останніх десятиліть розроблялись численні методи захисту інформації від витоку різними каналами. Одним із ключових напрямків забезпечення інформаційної безпеки є виявлення та локалізація можливих технічних каналів витоку акустичної інформації. В цій галузі було досліджено багато методів, включаючи активні методи захисту мовної інформації з використанням спеціальних приладів, магнітостатики та електростатики. Одним з найактуальніших та найперспективніших напрямків пасивного захисту мовної інформації на даний час є розробка спеціальних покриттів та плівок, застосування яких може суттєво знизити ризик витоку конфіденційної інформації за рахунок поглинання або розсіювання лазерного випромінювання, що використовується для зондування; зниження амплітуди вібрацій відбивних поверхонь, що ускладнює відтворення звуку.

У даній роботі автор зосереджується на різноманітності пасивних методів захисту акустичної інформації, що дозволяє вивести захист мовної інформації від ЛСАР на новий, більш ефективний рівень. Дослідження включає аналіз наявних проблем та рішень, дослідження впливу елементного складу скла на його захисні властивості від ЛСАР, а також розробку моделі пошарового захисту мовної інформації, що дозволить підвищити рівень захищеності приміщень від зняття мовної інформації оптоелектронним каналом.

Об'єктом дослідження є захисні характеристики віконного листового скла та плівкових покриттів.

Предмет дослідження – моделі, методи та засоби захисту мовної інформації в оптоелектронному каналі витоку від лазерних систем акустичної розвідки.

У першому розділі «**Сучасний стан та підходи до захисту мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки**» узагальнено вітчизняний та зарубіжний досвід з даної проблематики, розкрито особливості мовної інформації як об'єкту захисту. У цьому розділі проведено детальний огляд каналів витоку мовної інформації та наведено характеристику технічних, акустичних та оптоелектронних каналів витоку інформації, їх переваги та недоліки. У процесі дослідження проаналізовано організаційні та технічні заходи захисту інформації, проведено порівняльну оцінку активних і пасивних методів захисту. В зазначеному розділі також розкрито основи акустичної розвідки, охарактеризовано типи лазерів, їх властивості, приведено типові схеми побудови ЛСАР та наведено характеристику лазерних систем акустичної розвідки. В результаті дослідження з'ясовано, що в цій предметній сфері оновлюються методика, впроваджуються нові розробки, а це свідчить, що сьогодні загрози інформаційній безпеці держави є динамічними і постійно змінюються, і відповідна проблематика наукових досліджень не втрачає своєї актуальності. Разом з тим, наголошено на необхідності системного, комплексного підходу, який би поєднував синтез активних і пасивних методів захисту мовної інформації від витоку оптоелектронним каналом. На основі аналізу організаційних та технічних заходів захисту інформації та порівняльної оцінки

активних і пасивних методів захисту, обґрунтовано переваги використання пасивних методів захисту інформації від ЛСАР.

У другому розділі **«Об’єкти дослідження та методи визначення захищеності мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки»** розглянуто фізико-хімічні властивості скла, їх характеристику, а також класифікацію захисних плівок за технологією виготовлення і прозорістю та їх основні функції. В зазначеному розділі на основі використаних методів дослідження, запропоновано комплексну методику для вивчення параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку інформації. Зокрема, оцінювання захищеності скла та плівкових покриттів від лазерних систем розвідки здійснювалося за допомогою рентгенофлуоресцентного і спектрального аналізу та симплекс-решітчатого планування при моделюванні характеристик скла. Описано методики напилення захисних оптичних шарів. Запропоновано спосіб одержання вдосконаленої структури аморфної електропровідної захисної плівки типу ВаCuTeF, що може краще поглинати потужність лазерного випромінювання у порівнянні з простими металізованими плівками. У рамках розділу також розглянуто методики дослідження властивостей захисних оптичних шарів, вимірювання інтенсивності лазерного зондування як критерію захищеності, роботи з лазерними тріангуляційними давачами вібрації та методику дослідження розсіювання лазерного променя на дифракційній ґратці з шару гафнію. На основі цього аналізу обґрунтовано можливі переваги використання діелектричних плівок діоксиду гафнію, що в разі підвищить захисні властивості скла від витоку акустичної інформації.

У третьому розділі **«Експериментальні дослідження варіативного впливу різних факторів на захисні властивості скла від лазерних систем акустичної розвідки»** обґрунтовано вплив елементного складу листового скла на коефіцієнти відбивання та поглинання зондуючого випромінювання. Встановлено, що коефіцієнти відбивання та поглинання змінюється відповідно до зміни хімічного складу досліджуваного скла, що дає можливість прогнозувати властивості та моделювати хімічний склад скла із заданими захисними властивостями. У рамках

розділу досліджено зміни захисних властивостей скла на основі використання діелектричних плівок діоксиду гафнію. Експериментально встановлено, що порівняно з чистим склом, коефіцієнт відбивання скла з напиленою плівкою є значно вищий, що ускладнює або робить неможливим зняття інформації оптичним методом. Проведений аналіз впливу фізико-хімічних властивостей напівпровідникової плівки ВаCuTeF на захисні властивості скла від ЛСАР показав, що такі плівки можуть бути отримані за допомогою лазерного імпульсного напилення за кімнатної температури підкладки із наступним відпалом у атмосфері аргону, що за різних температур відпалу може значно покращити властивості пропускання видимого світла, збільшити потужність відбитого лазерного променя та більшою мірою поглинати потужність лазерного випромінювання у порівнянні з простими металізованими плівками. В результаті дослідження впливу полімерних плівкових матеріалів на захисні характеристики віконного скла, встановлено, що захисні плівки на основі поліестеру погіршують прозорість скла і збільшують коефіцієнт відбивання. Підвищення захищеності скла від ЛСАР можливе за допомогою полімерних покриттів, напилених на скло. В процесі дослідження коефіцієнтів пропускання, відбивання та поглинання для різних зразків скла в залежності від кута нахилу зразка та його розміщення, проведена оцінка та вибір оптимального кута нахилу та розміщення зразка у склопакеті. В результаті встановлено, що одним з найкращих виробників скла за даними розрахунків можна вважати «Pilkington» та «Saint-Gobain», розміщеними під кутом 45 та 60 градусів. В рамках дослідження, присвяченого оптимізації параметрів лазерного датчика вібрації для протидії лазерним системам розвідки, було проведено налаштування вібраційного датчика з метою підвищення його чутливості до вібрацій, що генеруються лазерним опроміненням та оптимізовано інтерфейс для роботи з напиленими зразками з метою забезпечення ефективною взаємодією датчика з досліджуваними зразками.

Отримані результати можуть використовуватися при налаштуванні триангуляційних датчиків при дослідженні впливу антилазерних (антивібраційних) властивостей скла різних марок або хімічного складу на довжині хвилі 660 нм.

У четвертому розділі «Дослідження методів оптимізації параметрів захисту мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки» в результаті систематизації елементного і кількісного складу досліджуваного віконного скла відповідно до періодів і груп періодичної системи хімічних елементів, обґрунтовано залежність між електронною будовою хімічних елементів та захисними властивостями скла. Результати дослідження дають можливість моделювати закономірності захисних властивостей скла в залежності від його елементного складу. Удосконалено модель взаємозалежності параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку від ЛСАР в залежності від концентрації основних елементів досліджуваних зразків. Результати моделювання дозволяють пов'язати стехіометрію елементів досліджуваного скла з його захисними властивостями по відношенню до будь-якого лазерного опромінення. Дослідження впливу різних плівкових покриттів на захист інформації від лазерного зондування дозволило спрогнозувати технології захисту мовної інформації від зчитування оптоелектронним каналом. Експериментально доведено, що аморфна плівка на основі ВаCuTeF та діелектричне інтерференційне покриття на основі діоксиду гафнію, на відміну від відомих, дозволяють значно підвищити результативність захисту мовної інформації від зчитування лазерними системами. Розроблено практичні рекомендації для підвищення ефективності захисту мовної інформації від ЛСАР при проектуванні захищеного оптоелектронного каналу витоку інформації шляхом варіативної комбінації захисних плівок та віконного склопакету. В результаті дослідження впливу частоти звукових коливань на відгук лазерного променя з поширеного в Україні скла, експериментально доведено, що скло Lysuchansk 6 мм є більш чутливим до вібрації та має гірші властивості щодо відбивання лазерного сигналу, ніж Orionglass 4мм. Також рекомендовано використання захисних плівок від лазерних систем розвідки для військового призначення.

У **висновках** дисертаційної роботи викладено основні результати і рекомендації, які випливають з проведених досліджень, представлено та охарактеризовано показники ефективності параметрів захищеності на основі

використання запропонованої методології дослідження, що включає методи, методики та експеримент.

У **додатках** до дисертації долучено акти впровадження результатів дослідження та список наукових праць і апробацій автора за темою дисертації.

Основні наукові результати дисертації опубліковано в 14 працях, з них 5 статей: 3 - у наукових фахових виданнях України і 2 – у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, одній колективній монографії та 5 публікаціях у матеріалах та збірниках доповідей наукових конференцій, з яких 2 індексуються у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, а також у 3 публікаціях, що додатково відображають наукові результати дисертації.

Ключові слова: інформаційна безпека, захист інформації, технічні канали витоку інформації, мовна інформація, лазер, лазерні системи акустичної розвідки, оптоелектронний канал, методи активного захисту, методи пасивного захисту, скло, захисні плівки.

SUMMARY

Dzianyi N. R. **Speech information protection from laser systems of acoustic intelligence.** – Qualifying scientific work on manuscript rights.

The dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 125 «Cyber Security». - ICTA National University «Lviv Polytechnic» of Ukraine, Lviv, 2024.

The dissertation is dedicated to addressing the current scientific and practical challenge of enhancing the efficiency of passive protection methods for linguistic information against reading by optoelectronic channels. Modeling the protective properties of glass against laser systems of acoustic reconnaissance depending on the concentration of key elements, as well as creating additional layers on the glass to counteract laser irradiation along with the use of multi-level window designs, will elevate the level of protection of premises against the extraction of linguistic information by laser systems of acoustic reconnaissance.

The leakage of confidential information remains one of the most serious challenges in the field of counteracting industrial espionage. Laser-based window and surface probing enables the reproduction of conversations held during confidential negotiations, speeches, and other events. Over the past decades, numerous methods have been developed to protect information from leakage through various channels. One of the key directions in ensuring information security is the detection and localization of potential technical channels for leaking acoustic information. Many methods have been explored in this field, including active protection methods for linguistic information using specialized devices, magnetostatics, and electrostatics. One of the most relevant and promising directions for passive protection of linguistic information at present is the development of special coatings and films, the application of which can significantly reduce the risk of leakage of confidential information by: absorbing or scattering laser radiation used for probing; reducing the amplitude of vibrations of reflective surfaces, thus complicating sound reproduction.

In this work, the author focuses on a variety of passive methods for protecting acoustic information, aiming to elevate the protection of linguistic information from Laser

Surveillance and Reconnaissance (LSAR) to a new, more effective level. The research includes an analysis of existing problems and solutions, examination of the influence of the elemental composition of glass on its protective properties against LSAR, as well as the development of a layered model for safeguarding linguistic information. This endeavor is intended to enhance the level of security of premises against the extraction of linguistic information by optoelectronic channels.

The object of the research is the protective characteristics of window glass sheets and film coatings.

The subject of the research is models, methods, and means for protecting linguistic information within the optoelectronic channel from laser-based acoustic reconnaissance systems.

In the first chapter, «**Current State and Approaches to Protecting Linguistic Information from Laser Acoustic Surveillance Systems**», the domestic and foreign experience on this issue is summarized, and the peculiarities of linguistic information as an object of protection are disclosed. This chapter provides a detailed overview of channels for leakage of linguistic information and gives a characterization of technical, acoustic, and optoelectronic channels of information leakage, their advantages, and disadvantages. In the course of the research, organizational and technical measures for information protection are analyzed, and a comparative evaluation of active and passive protection methods is conducted. This section also reveals the basics of acoustic surveillance, characterizes types of lasers, their properties, presents typical designs of LASAR (Laser Acoustic Surveillance and Reconnaissance systems), and provides a characterization of laser acoustic surveillance systems. As a result of the research, it is established that methodologies are being updated and new developments are being implemented in this subject area, indicating that today the threats to the information security of the state are dynamic and constantly changing, and the relevant research issues remain relevant. At the same time, emphasis is placed on the necessity of a systematic, comprehensive approach that combines the synthesis of active and passive methods for protecting linguistic information from leakage via optoelectronic channels. Based on the analysis of organizational and technical measures for information protection and the

comparative evaluation of active and passive protection methods, the advantages of using passive methods for protecting information from LASAR are justified.

In the second chapter, titled «**Objects of research and methods for determining the protection of language information from laser acoustic reconnaissance systems**», the physical and chemical properties of glass, their characteristics, as well as the classification of protective films by manufacturing technology and transparency, and their main functions are discussed. In this chapter, based on the methods of research used, a comprehensive methodology for studying the parameters of the protection of the optoelectronic information leakage channel is proposed. In particular, the evaluation of the protection of glass and film coatings from laser reconnaissance systems was carried out using X-ray fluorescence and spectral analysis, as well as simplex-lattice planning when modeling glass characteristics. Techniques for depositing protective optical layers are described. A method for obtaining an improved structure of amorphous electrically conductive protective film of the BaCuTeF type is proposed, which can better absorb the power of laser radiation compared to simple metallized films. The chapter also discusses methods for studying the properties of protective optical layers, measuring the intensity of laser probing as a criterion of protection, working with laser triangulation vibration sensors, and the methodology for studying laser beam scattering on a diffraction grating with a hafnium layer. Based on this analysis, the possible advantages of using hafnium dioxide dielectric films are justified, which significantly enhance the protective properties of glass against acoustic information leakage.

In the third chapter, «**Experimental Studies of the Variational Effect of Different Factors on the Protective Properties of Glass from Laser Acoustic Reconnaissance Systems**», the influence of the elemental composition of sheet glass on the coefficients of reflection and absorption of probing radiation is substantiated. It is established that the coefficients of reflection and absorption vary according to changes in the chemical composition of the investigated glass, which makes it possible to predict properties and model the chemical composition of glass with specified protective properties. Within the framework of the chapter, changes in the protective properties of glass based on the use of hafnium dioxide dielectric films are investigated. It is experimentally established that

compared to pure glass, the reflection coefficient of glass with sprayed film is significantly higher, making it difficult or impossible to extract information optically. An analysis of the influence of the physicochemical properties of the BaCuTeF semiconductor film on the protective properties of glass from LASAR showed that such films can be obtained by laser pulse deposition at room temperature on a substrate followed by annealing in an argon atmosphere, which, depending on the annealing temperature, can significantly improve the properties of visible light transmission, increase the power of the reflected laser beam, and to a greater extent absorb the power of laser radiation compared to simple metallized films. As a result of the study of the influence of polymeric film materials on the protective characteristics of window glass, it was established that protective films based on polyester worsen the transparency of glass and increase the reflection coefficient. Increasing the protection of glass from LASAR is possible through the use of polymer coatings sprayed onto the glass. During the study of transmission, reflection, and absorption coefficients for different glass samples depending on the angle of inclination of the sample and its placement, an evaluation and selection of the optimal angle of inclination and placement of the sample in the glass package were carried out. As a result, it was established that one of the best glass manufacturers based on calculations can be considered «Pilkington» and «Saint-Gobain», positioned at angles of 45 and 60 degrees. Within the framework of the study dedicated to optimizing the parameters of a laser vibration sensor to counteract laser reconnaissance systems, adjustment of the vibration sensor was carried out to increase its sensitivity to vibrations generated by laser irradiation, and the interface for working with sprayed samples was optimized to ensure effective interaction of the sensor with the investigated samples. The obtained results can be used in the calibration of triangulation sensors in the study of the influence of anti-laser (anti-vibration) properties of glass of different brands or chemical composition at a wavelength of 660 nm.

In the fourth chapter, **«Investigation of optimization methods for protecting linguistic information from laser acoustic reconnaissance systems»**, the dependence between the electronic structure of chemical elements and the protective properties of glass is justified by systematic analysis of the elemental and quantitative composition of

the investigated window glass according to periods and groups of the periodic table of chemical elements. The research results allow modeling the regularities of glass protective properties depending on its elemental composition. The model of interdependence of parameters for protecting the optoelectronic leakage channel from LASAR is improved depending on the concentration of the main elements of the investigated samples. The modeling results enable linking the stoichiometry of elements of the investigated glass with its protective properties against any laser radiation. The study of the influence of various film coatings on protection against laser probing allowed predicting technologies for protecting linguistic information from reading by optoelectronic channels. It is experimentally proven that an amorphous film based on BaCuTeF and a dielectric interference coating based on hafnium dioxide, unlike known ones, significantly increase the effectiveness of protecting linguistic information from reading by laser systems. Practical recommendations are developed to enhance the effectiveness of protecting linguistic information from LASAR when designing a protected optoelectronic leakage channel by variably combining protective films and window glass packages. As a result of the study of the influence of sound vibration frequency on the response of a laser beam from glass commonly used in Ukraine, it is experimentally proven that 6mm Lysychansk glass is more sensitive to vibration and has poorer properties for reflecting a laser signal than 4mm Orionglass. It is also recommended to use protective films against laser reconnaissance systems for military purposes.

The **conclusions** of the dissertation work present the main results and recommendations derived from the conducted research, and characterize the efficiency indicators of protective parameters based on the proposed research methodology, which includes methods, techniques, and experiments.

In the **appendices** to the dissertation, implementation reports of the research results and a list of scientific works and presentations by the author on the dissertation topic are attached.

The main scientific results of the dissertation have been published in 14 works, including 5 articles: 3 in scientific professional publications in Ukraine and 2 in the

Scopus and Web of Science scientific databases, one collective monograph, and 5 publications in conference proceedings and collections, 2 of which are indexed in the Scopus and Web of Science scientific databases, as well as in 3 additional publications reflecting the scientific results of the dissertation.

Keywords: information security, information protection, technical information leakage channels, linguistic information, laser, laser acoustic reconnaissance systems, optoelectronic channel, active protection methods, passive protection methods, glass, protective films.

Список публікацій здобувача:

Наукові праці, в яких опубліковано наукові результати дисертації:

1. Ракобовчук Л., Дзяний Н., Антоневич М. Захисні характеристики плівок від лазерних систем акустичної розвідки на прикладі одношарового відбиваючого покриття діоксиду гафнію // Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2023, vol. 29, issue 1, pp. 32-40. URL: <http://infosecurity.nau.edu.ua> DOI: 10.18372/2225-5036.29.17550 (авторові належить - дослідження коефіцієнту відбивання скла з напиленим одношаровим покриттям діоксиду гафнію за допомогою спектральних характеристик)

2. Yemanov V., Dzyanyi N., Dzyana H., Dolinchenko O., Didych O. Modelling a public administration system for ensuring cybersecurity // International Journal of Safety and Security Engineering (IJSSE). – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 81–88. 0,36 ум.д.ар. URL: <https://www.iieta.org/journals/ijssse/paper/10.18280/ijssse.130109> DOI: <https://doi.org/10.18280/ijssse.130109> (SciVerse SCOPUS)

3. Дудикевич В. Б., Опірський І. Р., Дзяний Н. Р., Ракобовчук Л. М., Гаранюк П. І. Дослідження оптимізації параметрів лазерного датчика вібрації для протидії лазерним системам розвідки // Кібербезпека: освіта, наука, техніка. – 2022. – № 3 (15). – С. 110–123. 0,62 ум.д.ар. DOI: 10.28925/2663-4023.2022.15.110123 (авторові належить - дослідження та оптимізація програмного середовища і вхідних параметрів лазерного датчика вібрації для підтвердження анти лазерних властивостей скла та захисних плівок)

4. Dzyanyi N., Dudykevych V., Opriskyu I., Rakobovcuk L., Haraniuk P. Investigation of the protective capabilities of glass from laser sounding depending on its elemental composition // Eureka: Physics and Engineering. – 2022. – № 5. – P. 162–174. 0,58 ум.д.ар. DOI: 10.21303/2461-4262.2022.002527 (SciVerse SCOPUS).

5. I. Opriskyu, V. Dudykevych, L. Rakobovcuk, N. Dzyanyi. Research and software optimization of laser vibration sensor // Processing, transmission and security of information. Vol. 2 : [monografia zbiorowa] – Bielsko-Biała, Poland: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2019. – S.273–282. ISBN: 978-83-66249-25-7

(авторові належить - дослідження вхідних параметрів лазерного датчика вібрації для підтвердження анти лазерних властивостей скла та захисних плівок)

6. Дудикевич В.Б. Критична інфраструктура в аспекті євроінтеграційного курсу України у сфері забезпечення кібербезпеки / В.Б. Дудикевич, П.І. Гаранюк, Н.Р. Дзяний, Л.М. Ракобовчук, Б.М. Березюк // Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал – № 3 (54) – 2018. – С. 81-88. ISSN 2411-3816 (авторові належать - рекомендації щодо використання захисних плівок для захисту від лазерних систем акустичної розвідки на об'єктах критичної та критично-інформаційної інфраструктури)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Дзяний Н.Р. Електропровідна плівка на вікна для захисту інформації від витoku опто-електронним каналом / Н.Р. Дзяний // Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: тези доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції (Закарпатська область, Міжгірський район, село Верхнє Студене, туристичний комплекс «Едельвейс». 12 – 15 лютого 2019 р.). – К.: Видавництво Європейського університету, 2019. – С. 54-59.

2. Valeriy Dudykevych. Modern technologies analysis of protection of language information from laser removing / Valeriy Dudykevych, Bogdan Berezuk, Nazarii Dzianyi, Petro Garanuk, Larysa Rakobovcuk // Materials of VII-th International Scientific and Technical Conference «Information protection and information systems security» - May 30-31, 2019 – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House 2019. – p. 132-133. ISBN 978-966-941-337-6

3. Nazarii Dzianyi. Usage of semitransparent amorphous films on windows to protect information from acoustic intelligence laser systems / Nazarii Dzianyi // Materials of VII-th International Scientific and Technical Conference «Information protection and information systems security» - May 30-31, 2019 – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House 2019. – p. 156-157. ISBN 978-966-941-337-6

4. Dudykevych Valeriy, Oprirskyu Ivan, Garanuk Petro, Rakobovcuk Larysa, Dzianyi N. Impact research of sound vibration frequencies on the laser beam response of the most common Ukrainian glass // Advanced trends in radioelectronics,

telecommunications and computer engineering : proceedings of 15th International conference, February 25–29, 2020, Lviv, Slavske, Ukraine. – 2020. – С. 213–217. 0,22 ум.д.ар. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235425. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088632> (Google Scholar, SciVerse SCOPUS, Web of Science).

5. Dudykevych V., Dzianyi N., Opirskyi I., Rakobovcuk L., Haraniuk P. Investigation of the use of protective characteristics of single-layer reflective coating films of hafnium dioxide to counter special cyber espionage devices // Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications : proceedings of the 11th IEEE International conference IDAACS (Cracow, Poland, 22-25 September, 2021). Vol. 1. – 2021. – С. 709–713. 0,22 ум.д.ар. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021 (SciVerse SCOPUS).

Інші публікації, що додатково відображають результати дисертації:

6. Дзяний Н.Р. Реалізація національної політики у сфері кібербезпеки / Н.Р. Дзяний, Г.О. Дзяна // Ефективність державного управління: зб. наук. пр. ЛПІДУ НАДУ. – Вип. 3 (48) Ч.1 / за заг. ред. чл.-кор. НАН України В. С. Загорського, доц. А. В. Ліпенцева. – Львів : ЛПІДУ НАДУ, 2016. – С. 123-130. ISSN 2070-4011

7. Журавчак Д. Ю., Дзяний Н. Р., Іськович С. В. Захищеність комунікаційного середовища побудованого за технологією ZigBee // Захист інформації і безпека інформаційних систем : матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, 1-2 червня 2017 р. Львів – 2017. – С. 160–161.

8. Дудикевич В.Б. Безпека критичної інформаційної інфраструктури як основа стійкості держави / В.Б. Дудикевич, І.Р. Опірський, Л.М. Ракобовчук, Н.Р. Дзяний // Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: тези доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції (Закарпатська область, Міжгірський район, село Верхнє Студене, туристичний комплекс «Едельвейс». 12 – 15 лютого 2019 р.). – К.: Видавництво Європейського університету, 2019. – С. 21-23.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПІДХОДИ ДО ЗАХИСТУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ.....	30
1.1. Особливості мовної інформації як об'єкту захисту.....	30
1.2. Канали витоку мовної інформації та їх характеристика.....	32
1.2.1. Технічні канали витоку інформації.....	32
1.2.2. Акустичні канали витоку інформації.....	35
1.2.3. Оптоелектронні канали витоку інформації.....	37
1.3. Методи та засоби захисту мовної інформації.....	38
1.3.1. Активні методи захисту мовної інформації.....	41
1.3.2. Пасивні методи захисту мовної інформації.....	42
1.4. Основи акустичної розвідки. Характеристика лазерних систем акустичної розвідки.....	46
1.4.1. Типи лазерів, їх властивості та характеристики.....	49
1.4.2. Типові схеми побудови ЛСАР.....	50
1.4.3. Процес зчитування акустичної інформації за допомогою ЛСАР.....	53
1.4.4. Технічні характеристики деяких видів лазерних систем акустичної розвідки.....	55
Висновки до розділу 1.....	58
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ЛСАР.....	59
2.1. Об'єкти дослідження та їх характеристики.....	59
2.1.1. Фізико-хімічні властивості скла та їх характеристика.....	59
2.1.1.1. Характеристики віконного скла, розповсюдженого в Україні.....	62
2.1.2. Захисні плівки та їх характеристики.....	63
2.1.2.1. Класифікація захисних плівок за технологією виготовлення та прозорістю.....	63
2.1.2.2. Плівки, що використовуються для захисту інформації.....	66
2.1.2.3. Характеристики захисних плівок, розповсюджених в Україні.....	69
2.2. Методи та методики дослідження захищеності віконного скла від лазерного зондування.....	70

2.2.1. Метод рентенофлуоресцентного аналізу елементного складу скла.....	70
2.2.2. Метод спектрального аналізу скла.....	71
2.2.3. Метод симплекс-решітчатого планування при моделюванні характеристик скла.....	72
2.2.4.Методика дослідження властивостей захисних оптичних шарів.....	72
2.2.5. Методика дослідження розсіювання лазерного променя на дифракційній ґратці з шару гафнію.....	75
2.2.6. Методика вимірювання інтенсивності лазерного зондування як критерію захищеності.....	80
2.2.7. Методика роботи з лазерними тріангуляційними давачами вібрації.....	87
Висновки до розділу 2.....	93
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАТИВНОГО ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЛА ВІД ЛСАР.....	95
3.1. Вплив елементного складу листового скла на коефіцієнти відбивання та поглинання зондуючого випромінювання.....	95
3.2. Дослідження зміни захисних властивостей скла на основі використання діелектричних плівок діоксиду гафнію.....	106
3.3. Аналіз впливу фізико-хімічних властивостей напівпровідникової плівки ВаCuTeF на захисні властивості скла від ЛСАР.....	110
3.4. Дослідження впливу полімерних плівкових матеріалів на захисні характеристики віконного скла.....	114
3.5. Дослідження коефіцієнтів пропускання, відбивання та поглинання для різних зразків скла із плівковим покриттям в залежності від кута нахилу зразка і розміщення плівки.....	118
3.6. Дослідження оптимізації параметрів лазерного датчика вібрації для протидії лазерним системам розвідки.....	124
Висновки до розділу 3.....	128
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СКЛА ДЛЯ ЗАХИСТУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ.....	130
4.1. Моделювання закономірностей зміни захисних властивостей скла в залежності від його елементного складу.....	130
4.2. Прогнозування параметрів захисних властивостей скла від ЛСАР в залежності від концентрації основних елементів.....	136

4.3. Оцінка ефективності застосування захисних плівок.....	142
4.4. Практичні рекомендації щодо встановлення захисних плівок на вікна.....	147
4.5. Дослідження впливу частоти звукових коливань на відгук лазерного променя з поширеного в Україні скла.....	151
4.6. Опис пошарової моделі багатокомпонентної архітектурно-компонованої структури акустичного каналу витоку інформації.....	156
4.7. Перспективи застосування плівкових напилень в безпекових технологіях військового призначення	160
Висновки до розділу 4.....	165
ВИСНОВКИ.....	167
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	171
ДОДАТКИ.....	183

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БПЛА – безпілотний літаючий апарат

ІЧ - інфрачервоне випромінювання

ЛСАР – лазерні системи акустичної розвідки

ОІД – об'єкт інформаційної діяльності

ТЗР - технічні засоби розвідки

ТКВІ - технічні канали витоку інформації

ТКЛР - температурний коефіцієнт лінійного розширення

УФ – ультрачервоне випромінювання

ВСТУП

Актуальність дослідження. Проблема протидії зніманню інформації лазерним випромінюванням є досить актуальною і в той же час однією з найменш вивчених на противагу іншим засобам промислового шпигунства. Особлива привабливість застосування такого способу обумовлена тим, що він дозволяє знімання мовної інформації на відстані, уникаючи необхідності присутності в приміщенні.

Виявлення працюючого лазерного мікрофона є складним завданням, а в деяких випадках може бути технічно нездійсненним. Це пов'язано з тим, що лазерні мікрофони можуть бути дуже компактними, безшумними та не потребують фізичного контакту з об'єктом запису, що ускладнює їх виявлення за допомогою традиційних методів. Стрімкий розвиток техніки та електроніки сприяє створенню все більш компактних і досконалих лазерних систем. Це робить їх більш практичними для використання в задачах технічної розвідки. Відомо про розробку ефективних дифузійних лазерів, які дозволяють знімати сигнал із скла під досить великим кутом. Використання світловідбиваючих елементів може значно розширити можливості лазерних систем, дозволяючи їм працювати з віддаленими об'єктами. За дотримання низки умов лазерні системи можуть бути досить ефективним засобом технічної розвідки, хоча їх використання пов'язане з певними обмеженнями.

При перехопленні мови з використанням лазерного вібраційного сенсора, об'єкт, що досліджується (зазвичай віконне скло), виступає в ролі мембрани, яка вібрує з частотою звуку, генеруючи фонограму мови. Звукова хвиля генерується джерелом акустичного сигналу і падає на межу поділу «повітря-скло», і це призводить до відхилення поверхні скла від його початкового положення. Ці відхилення призводять до дифракції світла, що відбивається від границі. У випадку, коли розміри падаючого оптичного пучка значно менші за довжину поверхневої хвилі, в суперпозиції різних компонентів відбитого світла домінуватиме дифракційний пучок нульового порядку. У цьому випадку, по-перше, фаза світлової

хвилі виявляється промодульованою за часом з частотою звуку і однорідною по перерізу пучка, а по-друге, пучок коливається з частотою звуку навколо напрямку дзеркального відображення. Відповідно, на якість прийнятої інформації впливають параметри лазера і фотоприймача, атмосферні і місцеві умови, рівні фонових акустичних шумів і перехопленого мовного сигналу, а також якість обробки скляної поверхні (шорсткості і нерівності, зумовлені як технологічними причинами, так і впливом середовища - бруд, подряпини та ін.) [59, 70, 116].

На даний час найбільш ефективним способом захисту мовної інформації від ЛСАР є комбінація активних і пасивних методів. Пасивні методи відіграють ключову роль у цій системі, адже вони використовуються при конструкторсько-будівельних роботах, а саме при захисті стін, дверей та вікон. Зважаючи на те, що віконне скло є найбільш вразливою ділянкою, воно стало об'єктом нашого дослідження.

Актуальність проблеми захисту інформації від витоку через оптоелектронний канал обумовлена використанням ЛСАР для зняття інформації, що становить особливу важливість. Розголошення такої інформації може призвести до значних матеріальних та моральних збитків для власника. Важливо зазначити, що мобільність ЛСАР робить їх незамінним інструментом у ситуаціях, коли доступ до об'єкта захисту через контрольовану зону неможливий.

Сьогодні, у період повномасштабної збройної агресії Російської Федерації проти України посилилася шпигунська діяльність, зокрема із застосуванням радіоелектронних та оптичних засобів. Такі дані технічної розвідки одержуються шляхом прийому електромагнітних випромінювань, генерованих чи відбитих об'єктами зацікавлення ворожої сторони. Зокрема, акустичні випромінювання поширюються в повітряному середовищі, тому акустичний шпіонаж реалізується перехопленням мовних шумів об'єкта, що переслідується [30].

На сьогодні ведуться розробки для захисту інформації від зчитування по оптоелектронних каналах [58, 78, 81, 82, 87, 106, 113].

Наприклад, проводяться дослідження ефективності сонцезахисних плівок для захисту акустичної інформації від перехоплення за допомогою лазерних систем

акустичної розвідки [70]. Проведено дослідження напівактивного блокування спроб оптичного спостереження різними сигналами механічних збурень, викликаних п'єзокерамічним датчиком. Були також проведені дослідження з використання багат шарових діелектричних плівок [99, 104] а також вивчення характеристик відбиття світлового променя [75, 96].

Всі перелічені вище технології захисту інформації ґрунтуються на збільшенні розсіювання або зменшенні відбиття лазерного променя при зніманні інформації з віконного скла. Це робить актуальними дослідження та розробки в галузі виготовлення скла з певними захисними властивостями, а також з використанням спеціальних захисних покриттів.

Проблемі технічного захисту інформації, а також захисту інформації від витоку оптоелектронним каналом присвячені праці низки вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких: Дудикевич В.Б., Ракобовчук Л.М., Опірський І.Р., Микитин Г.В., Совин Я.Р., Яремчук Ю.Є., Катаєв В.С., Крючкова Л.П., Нужний С.М., Клочко Н.П., Жадан Д.О., Заболотний В.І., Місюра С.М., Собчук І.С., Овсянніков В.В., Складанний П.М., Астапеня В.М., Бондарь М.С., Yu W., Peng Y., Cao L., Fathi R., Wei H., Saleh B., Gergely Takacs, Jakub Otčenaš, Jan Vachalek, Kaleris K., Stelzner B., Hatzianto-niou P., Trimis D., Juronis A., Jasinskas M., Zeng U., Pan B., Cao Y., Liyan Li, Hualin Zeng, Yuze Zhang, Qingshan Kong, Yan Zhou, and Yuliang Liu, Poliak J., Pezzei P., Leitgeb E., Wilfert O., Nassi B., Pirutin Y., Shamir A., Elovici Y.

З огляду науково-технічних джерел впливає, що за останні кілька років спостерігається підвищення інтенсивності досліджень та розробок в галузі протидії лазерним системам розвідки, особливо щодо використання нових плівкових антилазерних матеріалів, що підтверджує актуальність і необхідність розробок в даному напрямку.

Таким чином, глибшого аналізу і дослідження потребують параметри захищеності скла від ЛСАР з точки зору моделювання елементного складу скла, оскільки в залежності від домішок змінюються коефіцієнти пропускання, відбивання та поглинання лазерного випромінювання склом. Отже, необхідно

здійснити моделювання параметрів захищеності в залежності від якісного та кількісного вмісту елементів у склі та використання захисних покриттів.

Сьогодні у світі актуальними є дослідження щодо протидії лазерним системам розвідки, які активно та широко використовуються не тільки для перехоплення акустичної інформації, але й набули широкого впровадження під час військових дій. Відповідно, дослідження захисних властивостей скла від лазерного зондування в залежності від його елементного складу та розробка антилазерних покриттів є актуальним питанням в галузі захисту інформації в умовах війни з подальшим впровадженням цих розробок на промисловому рівні, що є надзвичайно важливо не тільки для України.

Результати дослідження та рекомендації щодо їх застосування мають універсальний характер і можуть бути використані як у військово-оборонній сфері, так і в інших галузях. Розробка нових методик виявлення антилазерних захисних властивостей, використання сучасних методик виявлення захисних характеристик антилазерного сканування, застосування нових антилазерних плівок та антиблікових покриттів на склопакетні конструкції, теорія впливу елементного складу на захисні властивості скла в залежності від енергетичних рівнів, моделювання необхідних характеристик відповідно теорії «склад-властивість» будуть цінними для науки, що створить передумови для появи нових технологій, методик та проектів у цій галузі, а результати дослідження будуть вагомим вкладом у вирішення задач, які ставить перед собою сфера захисту інформації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі захисту інформації Національного університету «Львівська політехніка» відповідно до наукового напрямку кафедри - «Дослідження систем технічного захисту інформації, каналів зв'язку та комп'ютерних мереж, фізичного захисту інформації та криптографії», в межах кафедральної науково-дослідної роботи: «Розроблення та удосконалення методів і засобів захисту інформації для протидії несанкціонованому доступу в інформаційно-комунікаційних мережах» (шифр ЗІ-7) (№ держреєстрації 0119U101690) (2019р.-2022р.), де автором вдосконалено відомі та розроблено нові

методи захищеності мовної інформації від витоку оптоелектронним каналом на основі дослідження впливу елементного складу скла на його захисні властивості від лазерних систем акустичної розвідки.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності методів захисту мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки за рахунок покращення захисних параметрів скла шляхом моделювання його якісного та кількісного складу.

Досягнення цієї мети передбачає розв'язання таких завдань:

- провести огляд каналів витоку та методів і засобів захисту мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки;
- проаналізувати технічні характеристики деяких видів лазерних систем акустичної розвідки;
- розвинути методику дослідження захищеності скла та покриттів від лазерного зондування;
- обґрунтувати варіативний вплив елементного складу скла на його захисні властивості від ЛСАР;
- запропонувати та дослідити вплив захисних покриттів на мінімізацію витоку інформації по оптоелектронному каналу;
- побудувати модель багатокомпонентної архітектурно-компонованої структури акустичного каналу витоку інформації;
- розробити рекомендації щодо підвищення ефективності захисту мовної інформації від ЛСАР.

Об'єктом дослідження є захисті характеристики віконного листового скла та плівкових покриттів.

Предмет дослідження – моделі, методи та засоби захисту мовної інформації в оптоелектронному каналі витоку від лазерних систем акустичної розвідки.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувались методи рентгенофлуоресцентного аналізу елементного складу скла, спектрального аналізу скла, симплекс-решітчатого планування при моделюванні характеристик скла, системного підходу при розробці моделі пошарового захисту мовної інформації.

Наукова новизна одержаних результатів: на основі проведених досліджень вирішено важливе науково-практичне завдання підвищення ефективності методів пасивного захисту мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

1) вперше, на основі використаних методів дослідження, запропоновано комплексну методику для вивчення параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку інформації від ЛСАР, яка дає змогу дослідити взаємозалежність внутрішньої будови скла і його захисних характеристик. Застосовані методи, розроблені на їхній основі методики та експериментальні дослідження становлять таку методологію, що повністю довершує поставлені завдання;

2) вперше досліджено та обґрунтовано вплив елементного складу скла на захисні параметри в оптоелектронному каналі витоку інформації від ЛСАР. Систематизація елементного і кількісного складу досліджуваного віконного скла відповідно до періодів і груп періодичної системи хімічних елементів, дала можливість побачити залежність між електронною будовою хімічних елементів та захисними властивостями скла.

3) вперше побудовано модель багатокомпонентної архітектурно-компонованої структури акустичного каналу витоку інформації (модель пошарового захисту), яка враховує комбінацію пошарових елементів та запропоновано її математичний опис з використанням двох моделей розв'язку: агрегатної та комплексної. Математична модель описує мінімізацію втрат інформації через оптоелектронний канал витоку від ЛСАР, що відповідає максимальному ступеню захищеності приміщення.

4) удосконалено модель впливу параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку від ЛСАР в залежності від концентрації основних елементів досліджуваного скла. Результати моделювання дозволяють пов'язати стехіометрію елементів досліджуваного скла з його захисними властивостями по відношенню до будь-якого лазерного опромінення.

5) набули подальшого розвитку дослідження впливу різних плівкових покриттів на захист інформації від лазерного зондування, що дозволяє

спрогнозувати різнопланові альтернативи захисту мовної інформації від зчитування оптоелектронним каналом, а саме: досліджено аморфний матеріал на основі ВаCuTeF та діелектричне інтерференційне покриття на основі діоксиду гафнію, які на відміну від відомих, дозволяють значно підвищити результативність захисту мовної інформації від зчитування лазерними системами.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

1) дослідження впливу елементного складу листового скла на коефіцієнти відбивання та поглинання зондуючого випромінювання дають можливість моделювати склад та прогнозувати захисні властивості скла;

2) удосконалено модель склад-властивість з метою прогнозування параметрів захисних властивостей скла від ЛСАР в залежності від концентрації основних елементів, дієздатність якої доведена експериментальними дослідженнями;

3) запропоновано використання пристроїв рентгенофлуоресцентного та спектрального аналізу для оцінювання захищеності скла та плівкових покриттів від ЛСАР;

5) запропоновано використання плівкових покриттів для захисту від ЛСАР, які використовуються у промисловому масштабі з подальшою їх розробкою і удосконаленням, та показано вплив технології їх виготовлення на можливості зміни захисних параметрів. Затрати на виготовлення та нанесення таких покриттів є значно меншими, ніж затрати на розробку та виробництво будь-яких активних засобів захисту у сучасному світі, що підтверджує переваги пасивних методів захисту мовної інформації від зчитування оптоелектронним каналом.

б) розроблено практичні рекомендації для підвищення ефективності захисту мовної інформації від ЛСАР при проектуванні захищеного оптоелектронного каналу витоку інформації;

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено:

- у навчальний процес кафедри «Захист інформації» Національного університету «Львівська політехніка» як окремих тем лекційних курсів, так і в циклах лабораторних робіт для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня

«бакалавр», що навчаються за напрямом 125 «Кібербезпека та захист інформації», з дисциплін: «Технічні засоби охорони об'єктів та управління технічними засобами інформації» та «Засоби передавання, приймання та обробки інформації в системах технічного захисту інформації»;

- у навчальний процес Навчально-наукового інституту захисту інформації Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема, під час навчальних занять зі здобувачами вищої освіти за спеціальністю 125 «Кібербезпека та захист інформації» освітніх рівнів «бакалавр» та «магістр» у формі окремих навчальних питань, включених до методичних розробок для лекційних та практичних занять, які проводяться в університеті;

- у навчальний процес для курсантів магістерської програми Інституту морально-психологічного забезпечення Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного при викладанні навчальної дисципліни «Сучасні аспекти інформаційної безпеки». (т.2 Інформаційні війни. Система забезпечення інформаційної безпеки);

- при виконанні науково-дослідної роботи кафедри захисту інформації НУ «Львівська політехніка» «Розроблення та удосконалення методів та засобів захисту інформації для протидії несанкціонованому доступу в інформаційно-комунікаційних мережах» (№ держреєстрації 0119U101690), що підтверджено актами впровадження.

Особистий внесок. Основні наукові результати дисертаційної роботи здобуті автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, внесок Дзяного Н.Р. є визначальним, зокрема авторові належать (нумерація згідно Додатку А): у роботах [3, 5] - дослідження та оптимізація програмного середовища і вхідних параметрів лазерного датчика вібрації для підтвердження анти лазерних властивостей скла та захисних плівок, [4] - дослідження та аналіз захисних характеристик скла від лазерного зондування в залежності від його елементного складу з використанням коефіцієнтів відбивання і поглинання лазерного променя віконним склом та виявлення залежності між елементним складом і захисними властивостями скла, [1] - дослідження коефіцієнту відбивання скла з напиленим

одношаровим покриттям діоксиду гафнію за допомогою спектральних характеристик, [2, 6] – рекомендації щодо використання захисних плівок для захисту від лазерних систем акустичної розвідки на об'єктах критичної та критично-інформаційної інфраструктури.

Апробація результатів. Основні наукові результати і положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 5-и міжнародних науково-технічних конференціях та наукових семінарах: IV Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації» (Закарпатська область, Міжгірський район, с. Верхнє Студене, 12-15 лютого 2019 р.); VII-th International Scientific and Technical Conference «Information protection and information systems security» (May 30-31, 2019. Lviv); 15th International conference «Advanced trends in radioelectronics, telecommunications and computer engineering» (February 25-29, 2020, Lviv, Slavske, Ukraine); 11th IEEE International conference IDAACS «Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications» (Cracow, Poland, 22-25 September, 2021). Окрім того, дисертаційна робота у повному обсязі представлена на наукових семінарах кафедри Захисту інформації Національного університету «Львівська політехніка».

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано в 14 працях, з них 5 статей: 3 - у наукових фахових виданнях України і 2 – у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, одній колективній монографії та 5 публікаціях у матеріалах та збірниках доповідей наукових конференцій, з яких 2 індексуються у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, а також у 3 публікаціях, що додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 182 сторінки, з яких 170 сторінок основного тексту. Робота містить 96 рисунків, 24 таблиці, список використаних джерел налічує 117 найменувань на 12 сторінках та 4 додатки.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ЗАХИСТУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ

1.1. Особливості мовної інформації як об'єкту захисту

Мова є одним з найдавніших способів обміну інформацією між людьми. Як зазначає В. І. Шульгіна, «з точки зору свого функціонального спрямування мова є засобом організації інформації» [48]. Технічний прогрес значно розширив можливості роботи з інформацією. З'явилися нові технології, такі як текстові редактори, онлайн-платформи, хмарні сховища, штучний інтелект, що роблять роботу з інформацією більш ефективною. Незважаючи на розвиток нових технологій, контроль мовної інформації залишається темою, що викликає значний інтерес.

Класифікація середовищ поширення мовної інформації за способом переносу звукових хвиль є наступною:

- середовища з повітряним перенесенням (звукові хвилі переносяться молекулами повітря);
- середовища з матеріальним перенесенням (звукові хвилі переносяться твердим тілом);
- середовища з мембранним перенесенням (звукові хвилі переносяться вібрацією мембрани).

Акустична інформація – це інформація, яку переносять акустичні сигнали, тобто коливання пружного середовища (повітря, води, твердого тіла), що сприймаються людським вухом. Мовна інформація - це акустична інформація, джерелом якої є людська мова.

Унікальність мовної інформації пояснює її особливе значення і, відповідно, високу зацікавленість потенційних зломисників у її перехопленні. Відповідно, зняття мовної інформації по прямих акустичних і віброакустичних каналах залишається одним з найбільш ефективних видів такого перехоплення.

Лінгвістична інформація виникає в процесі ведення розмов у приміщеннях, а також при роботі систем звукопідсилення та звуковідтворення.

Носіями мовної інформації є акустичні коливання (механічні коливання частинок пружного середовища, які поширюються від джерела коливань у навколишнє середовище у вигляді різної довжини хвиль).

Динамічні властивості розмовної мови дуже різноманітні і багато в чому залежать від зовнішніх умов, в яких перебуває людина, що говорить. За різних умов людина обмінюється вербальною інформацією з різною гучністю, що приводить до формування різних рівнів звукового тиску (табл. 1.1.) [35]:

Таблиця 1.1.

Значення рівнів звукового тиску при різних ступенях гучності

Ступінь гучності	Рівень звукового тиску, дБ
Тихий шепіт	35...40
Спокійна бесіда	55...60
Виступ в аудиторії без засобів звукопідсилення	65...70

В акустиці загальноприйнято використання децибел, як умовних одиниць вимірювання рівня звукового тиску:

$$L_{\text{дБ}} = 20 \lg P/P_0 \quad (1.1)$$

Величину P_0 вибрано як P_0 , що відповідає мінімальному звуковому тиску, який сприймає людське вухо. Найменшою вважається зміна рівня звукового тиску на 1 дБ, яку може вловити людське вухо.

Слухове відчуття пропорційно логарифму дратівливої сили [44]:

$$E, \text{ дБ} = 10 \lg I/I_{\text{пс}}, \quad (1.2)$$

де $I_{\text{пс}}$ – подразнююча сила на порозі чутності.

Величина E – це рівень відчуття, причому $E = I_1 - I_{\text{пс}}$,

де $I_1, \text{ Вт/м}^2 = 10 \lg I + 120$ – рівень інтенсивності звуку.

Рівень відчуття, який являє собою рівень над порогом чутності, не точно характеризує суб'єктивне відчуття, тому в акустиці використовується поняття рівня

гучності звуку (шуму), що позначає рівень у децибелах чистого тону 1000 Гц, який однаково гучний з ним [44].

Відповідно до кривих рівнозвучності, рівень гучності на частоті 1000 Гц на 6 дБ перевищує гучність в діапазоні частот 250...500 Гц, тому це зниження може відбуватися при записі елементів мови за допомогою технічних засобів, компенсованих шляхом частотної корекції, яка виникає при неможливості сприйняття мови особою.

Згідно міжнародних стандартів, зокрема ISO/TR 4870, розбірливість визначається як «ступінь, з якою мова може бути зрозуміла (розшифрована) слухачами». Мірою розбірливості являється розбірливість елементів мови - величина, що визначається як відношення кількості правильно сприйнятих елементів мови (звуків, складів, слів, фраз) до загальної кількості переданих і виражається у відсотках [35].

1.2. Канали витоку мовної інформації та їх характеристика

Інформація, яка обробляється на об'єктах ТЗОІ, перехоплюється через технічні канали.

Говорячи про канали витоку інформації, багато авторів акцентують увагу на шляхах та напрямках несанкціонованого доступу до інформації [42, 44, 45]. Проте, визначаючи технічний канал витоку інформації, автори вводять поняття «середовище поширення», але не конкретизуючи «поширення чого?» [37], або розкриваючи зміст цього поширення: носіїв сигналів чи сигналів [12].

1.2.1. Технічні канали витоку інформації

«Якщо інформація поширюється за допомогою технічних засобів, відповідний канал називається технічним» [8]. Більшість схем зображення каналів технічної інформації автори зводять до структури, приведеної на рис. 1. 1.1.

Беручи до уваги положення Загальної парадигми захисту інформації про те, що «під впливом факторів зовнішнього середовища, що оточують носії інформації, змінюються їх параметри, що в свою чергу впливає на процес поширення сигналу», узагальнену структурну схему каналу витоку інформації можна представлений наступним чином (рис. 1.2) [8]:

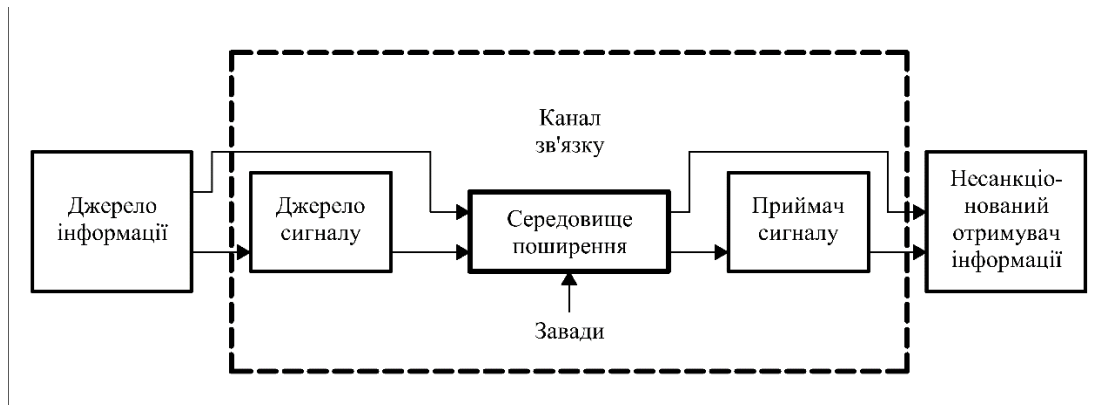


Рис. 1.1. Структура технічного каналу витоку інформації

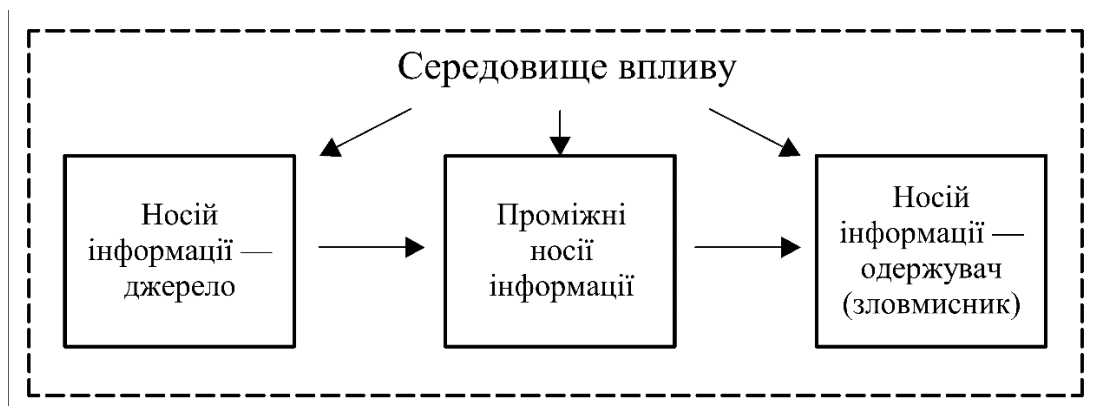


Рис. 1.2. Узагальнена структурна схема каналу витоку інформації

В результаті структурна схема технічного каналу витоку інформації виглядатиме так (рис. 1.3).

Одинарні та подвійні стрілки показують напрямок поширення сигналу. Подвійні стрілки вказують напрямки поширення сигналів після перетворення. Товсті стрілки показують вплив факторів середовища на значення параметрів носіїв інформації.

Слід врахувати, що на рис. 1.3. наведено спрощений варіант технічного каналу витоку інформації, в якому не наведені зворотні зв'язки, наявність яких обґрунтована вченими в наукових працях [20].

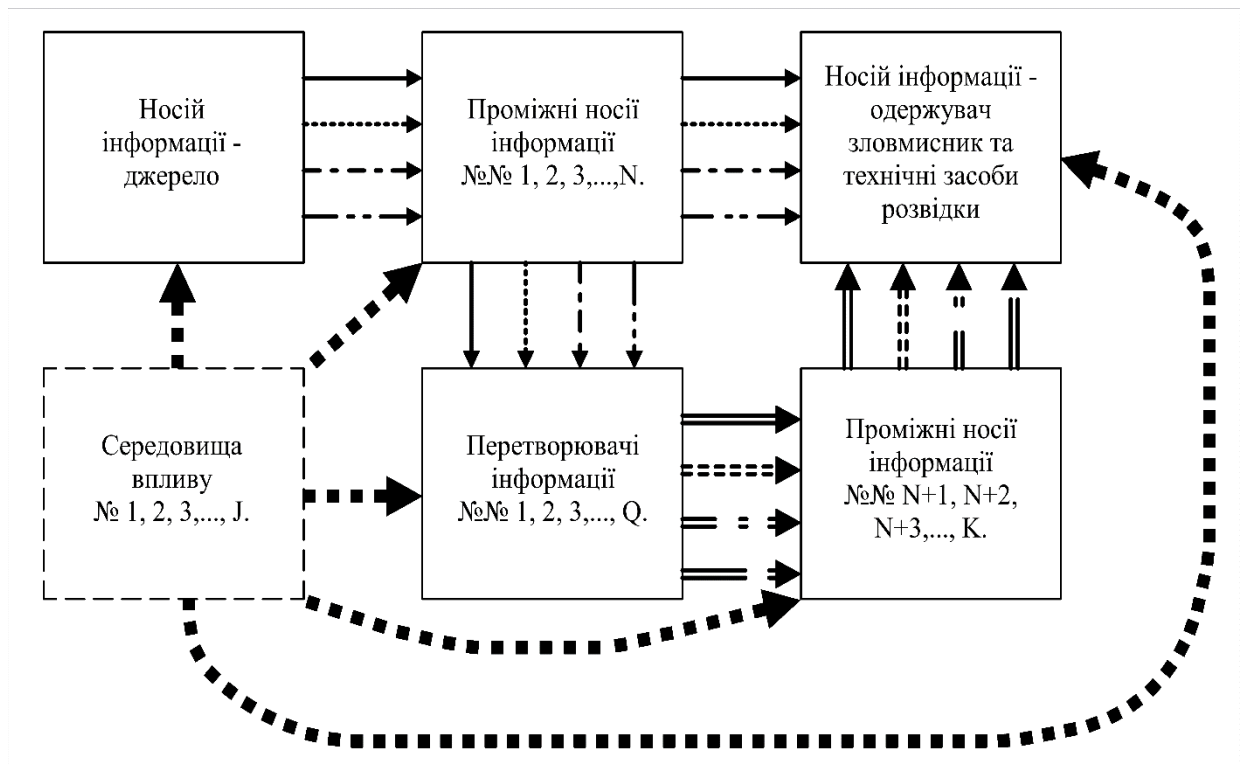


Рис. 1.3. – Структурна схема технічного каналу витоку інформації

Технічний канал витоку інформації (ТКВІ) розглядають як сукупність об'єкта розвідки, засобів технічної розвідки (ТЗР), за допомогою яких отримують інформацію про цей об'єкт, і фізичного середовища, в якому поширюється інформаційний сигнал.

З метою встановлення вимог до організації захисту інформації від витоку технічними каналами проведено їх класифікацію за конкретними ознаками, а саме:

- за видом інформаційної діяльності на ОІД;
- за принципом формування небезпечного сигналу (носія інформації);
- залежно від середовища розповсюдження небезпечного сигналу;
- залежно від способу перехоплення небезпечного сигналу засобами технічної розвідки супротивника.

За цими ознаками технічні канали витоку голосової інформації поділяються на: акустичні, акустовібраційні, акустооптоелектронні (лазерні акустичні),

акустоелектричні, відеоакустичні, канали ВЧ нав'язування та витоку мовної інформації на основі закладних пристроїв.

1.2.2. Акустичні канали витоку інформації

У закритих приміщеннях акустична інформація може бути перехоплена, оскільки будівельні конструкції (стіни, підлога, стеля, вікна, труби, закриті двері) по суті є акустичними мембранами і добре передають звукові коливання. З будь-якого приміщення через стіни, підлогу або стелю можна перехоплювати акустичний сигнал за допомогою віброперетворювача і підсилювача.

Здалеку акустичний сигнал від закритих вікон можна зняти, спрямувавши лазерне випромінювання на скло або використовуючи спрямований мікрофон. Акустична інформація також може бути знята з побутової техніки, апаратури зв'язку.

Вібруючі тіла і механізми, що коливаються, такі як рухомі елементи машин, телефонні апарати, звукопідсилюючі системи, голосові зв'язки людини і т.д. є джерелом утворення акустичного каналу витоку інформації. На рис. 1.4. представлена класифікація акустичних каналів витоку інформації [42].

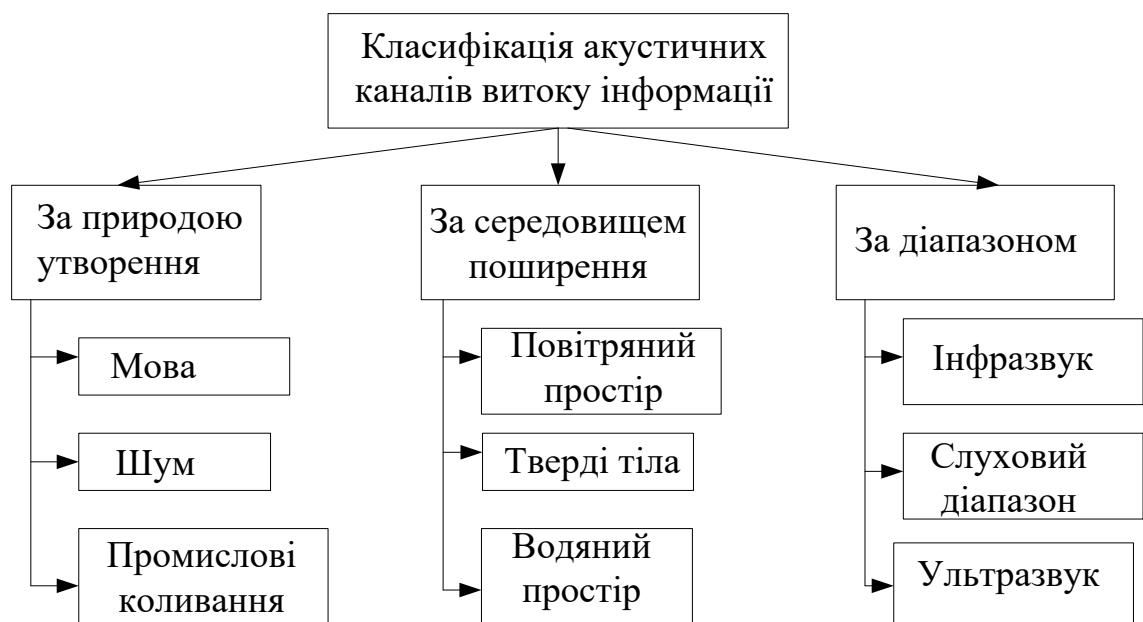


Рис.1.4. Класифікація акустичних каналів витоку інформації

При розповсюдженні акустичної хвилі, частинки повітря, якщо на їх шляху немає перешкод, утворюють пружну хвилю, що коливається, розповсюджуючись у всі сторони. В межах приміщень або інших закритих просторів на шляху поширення звукових хвиль виникає багато перешкод, на які акустичні хвилі чинять тиск (двері, вікна, стіни, стеля, підлога і т.п.), заставляючи їх коливатися. Така дія акустичних хвиль являється причиною утворення акустичного каналу витоку інформації.

Канали витоку акустичної інформації утворюються шляхом (рис. 1.5.) [8]:

- поширення акустичних коливань у вільному повітряному просторі;
- впливу звукових коливань на елементи та будівельні конструкції;
- впливу звукових коливань на технічні засоби обробки інформації.

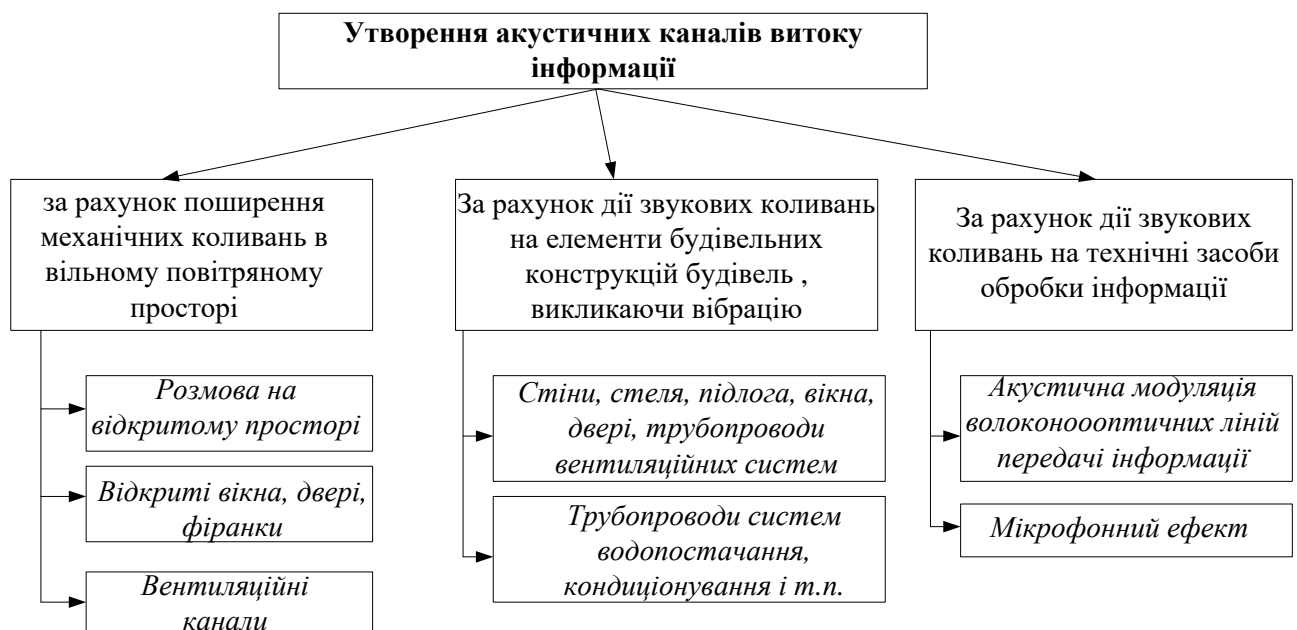


Рис.1.5. Утворення акустичних каналів витоку інформації

Отже, залежно від середовища розповсюдження голосових сигналів і способів їх перехоплення, технічні канали витоку інформації можна розділити на: акустичні, вібраційні, електроакустичні, оптоелектронні та параметричні.

Середовищем поширення акустичних сигналів в повітряних технічних каналах витоку інформації є повітря. Мікрофони використовуються як датчики в розвідувальних приладах для перехоплення акустичних сигналів. Сигнали, що

надходять з мікрофонів, або записуються безпосередньо на спеціальні портативні звукозаписуючі пристрої, або передаються на пункт прийому за допомогою спеціальних передавачів і там записуються.

Відомо, що для перехоплення акустичної інформації використовуються: портативні диктофони та дротові мікрофонні системи для прихованого звукозапису; спрямовані мікрофони; акустичні радіозакладки; акустичні закладки мережі; акустичні ПЧ-закладки; акустичні телефонні закладки.

1.2.3. Оптиелектронні канали витоку інформації

Оптиелектронний (лазерний) канал витоку інформації широко використовується в промисловому шпіонажі та є досить простим у використанні, оскільки здебільшого зняття інформації відбувається з вібруючого скла. Крім того, використання лазерного мікрофону не потребує його безпосередньої присутності на об'єкті [6].

Оптиелектронний (лазерний) канал витоку інформації формується при опроміненні лазерним променем тонких відбивних поверхонь (скла, вікон, картин, дзеркал тощо), що коливаються в акустичному полі. Відбите лазерне випромінювання (дифузне або дзеркальне) модулюється по амплітуді та фазі і приймається приймачем оптичного випромінювання, яке демодулюється для вивільнення голосової інформації.

Вібруюче скло дає три види модуляції для відбитого лазерного випромінювання: кутова модуляція, частотна і фазова модуляція. Властивості випромінювання та можливості модуляції лазерного променя дають можливість їх використання для реалізації засобів захисту від ЛСАР.

Сутність оптиелектронних каналів витоку інформації полягає в тому, що на ОІД, де озвучується інформація, під впливом небезпечного акустичного сигналу знаходяться усі предмети. Ті предмети, що мають оптичні властивості віддзеркалення, вібрують. Вібрація таких предметів пов'язана з коливанням їх поверхні. Якщо на поверхню цих предметів спрямувати лазерний промінь, то він

віддзеркалиться від поверхні у вигляді променя, модульованого тремтінням від сигналу вібрації і розповсюджуватиметься далі (Рис. 1.6.). [42].

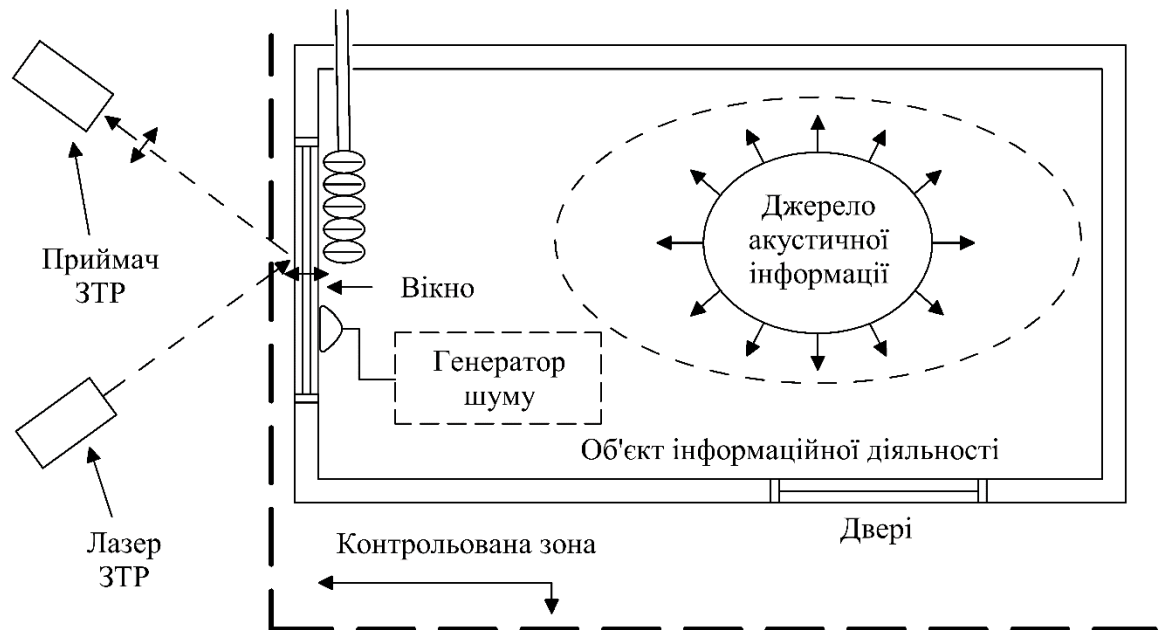


Рис. 1.6. Акустооптоелектронний (лазерний акустичний) канал витоку інформації

Віддзеркалений промінь може бути перехоплений противником, здійснена його демодуляція і відновлений початковий інформаційний мовний сигнал.

Запобігання витоку інформації акустооптоелектронним (лазерним акустичним) каналом можна досягти наступними способами:

- використання вакуумних та інших захищених вікон, матування зовнішньої поверхні скла;
- використання щодо вікон та інших предметів віддзеркалення вібраційного зашумлення.

1.3. Методи та засоби захисту мовної інформації

Захист мовної інформації – це комплекс заходів, спрямованих на запобігання несанкціонованому доступу, використанню, поширенню або зміні мовної інформації.

Захист мовної інформації є важливим для забезпечення безпеки та конфіденційності мовної інформації. Мовна інформація може бути цінним активом для організації і її захист від несанкціонованого доступу є критично важливим для успіху організації.

У роботах [16, 17, 23, 52, 70] вітчизняні науковці розглядають питання захисту мовної інформації від витоку за допомогою опто-електронного каналу. Запропоновані методи пасивного захисту з використанням сонцезахисних плівок не дають бажаного ефекту як антилазерні.

Плівки на основі сполук міді, які захищають вікна від випромінювання в ультрафіолетовому та видимому інфрачервоному діапазонах, як описано в [74], працюють найбільш ефективно в діапазоні 500 нм, який не може забезпечити бажаний захист від сканування, оскільки лазери працюють в робочому діапазоні 650 - 3000 нм.

Зарубіжними авторами в роботі [106] проаналізовано варіанти для зменшення вібрації скла та запобігання лазерному прослуховуванню. Враховано вплив конструкції склопакета на захисні властивості від ЛСАР. Результати дослідження показують, що лише 1% коливань скла передається віконними рамами, а решта – віконним склом.

Вплив антилазерних аерозолів на інтенсивність акустичних сигналів розглянуто в роботі [81]. Було встановлено, що оптимальна сила сигналу відповідає кількості абляційного матеріалу. Це дозволяє відповідним чином регулювати лазерний фокус під час відбору зразків для оптимальної абляції на основі інтенсивності акустичного сигналу.

При дистанційній лазерній зйомці голосу, проаналізовані характеристики зворотного розсіювання об'єктів [82]. Результати показали, що відновлена амплітуда мовного сигналу поступово зменшується зі збільшенням шорсткості поверхні. Крім того, відновлена амплітуда акустичного сигналу збільшується зі збільшенням коефіцієнта ослаблення металу.

На основі надрешіток з фотонних кристалів та наноматеріалів, розроблені багаточастотні багатосарові плівки та покриття з матеріалів [117]. Ці матеріали

забезпечують фільтрацію певних довжин хвилі світла, зберігаючи прозорість у іншому спектрі.

Аналізування праць зарубіжних та вітчизняних вчених дає підстави стверджувати, що захист мовних даних від можливого витоку технічними каналами є одним з важливих завдань забезпечення інформаційної безпеки, як у державних, так і бізнес-структурах.

Будь-який канал витоку інформації формується на основі трьох складових: передавач (джерело небезпечного сигналу), середовище розповсюдження небезпечного сигналу, приймач (пристрій знімання інформації). Оптико-електронний канал - не виняток. Небезпечним сигналом в даному випадку є мова співрозмовників, тобто обговорювана вголос закрита інформація. Середовищем поширення небезпечного сигналу, в нашому випадку, можуть бути вікна, картини, дзеркала, та інші предмети побуту, що знаходяться у приміщенні. Ці конструкції мають властивості мембрани і піддаються сильному впливу звукових коливань [23].

Таким чином, для використання оптоелектронного каналу витоку інформації зловмиснику немає необхідності проникати в приміщення, достатньо лише отримати доступ до суміжних будівель та встановити там пристрої знімання інформації, що перетворюють коливання конструкцій контрольованої зони в електричні.

Захист мовної інформації може відбуватися у двох напрямках. По-перше, захистити переговори, які відбуваються в закритих приміщеннях або на контрольованій території. Другий аспект - захистити мовну інформацію в каналах зв'язку.

У такій діяльності використовуються активні та пасивні методи (Рис. 1.7.) [15].

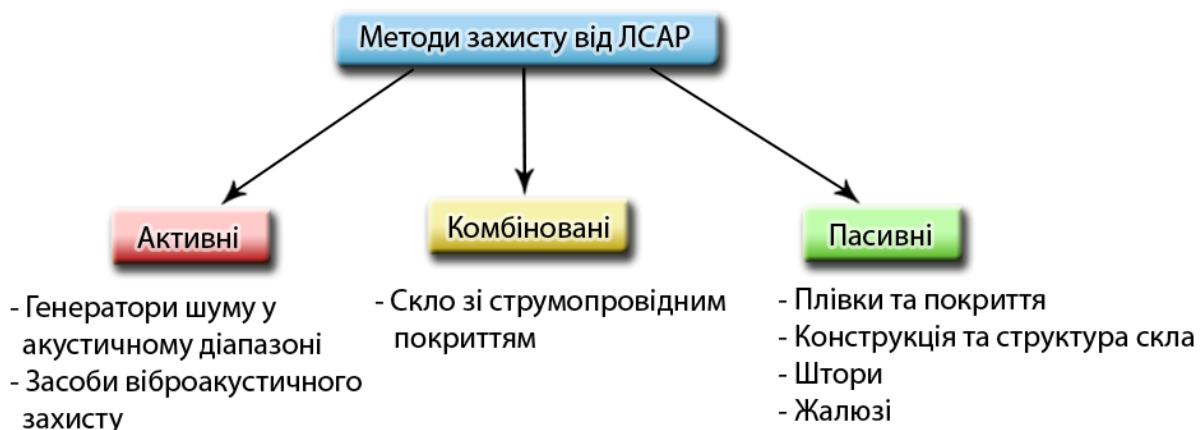


Рис. 1.7. Методи захисту від ЛСАР та відповідні засоби захисту

Отже, зняття акустичної інформації може здійснюватися через віконне скло, будівельні, сантехнічні, вентиляційні, опалювальні конструкції, за допомогою засобів радіомовлення, телефонного та комп'ютерного зв'язку, антенних і телевізійних розподільних мереж, протипожежної сигналізації, мереж електропостачання та обліку робочого часу, гучномовного та диспетчерського зв'язку, заземлення та ін. Випадкове пропуск хоча б одного можливого каналу витоку може звести всі витрати до нуля та зробити систему захисту неефективною.

1.3.1. Активні методи захисту інформації

Реалізація комплексу заходів щодо повноцінного захисту інформації є важливим завданням для забезпечення безпеки даних та інформаційних систем. Цей комплекс заходів може бути застосований як до вже експлуатованих приміщень, так і до приміщень, що знаходяться на останніх стадіях будівельно-ремонтних робіт. Захист від ЛСАР можна реалізувати на будь-якому етапі, основна частина впровадження безпеки витоку мовної інформації відноситься до захисту вікон. Не рідко підприємства, що потребують захисту інформації схиляються до використання активних методів. Однак даний підхід має низку недоліків, зокрема: [15]:

- висока вартість компонентів при проектуванні і створенні систем активного зашумлення;
- монтаж систем активного зашумлення призводить до зміни реалізованих в приміщеннях інтер'єрних рішень;
- зашумлення приміщень, що обумовлено фізичними принципами функціонування систем активного захисту.

Як правило, у споживача, що зіткнувся із завданням реалізації захисту інформації, виникає проблема вибору активних, чи пасивних систем захисту. При цьому більшість покупців керується наступними критеріями: низька ціна, мінімальні габарити, простота встановлення. На жаль, типові системи захисту часто проектуються для захисту від конкретних загроз, що може зробити їх вразливими до нових або невідомих загроз. Проактивний підхід, що включає в себе прогнозування та запобігання загрозам, може бути більш ефективним у забезпеченні безпеки.

1.3.2. Пасивні методи захисту мовної інформації

Мінімізувати недоліки активних методів захисту мовної інформації можна шляхом використання пасивних методів захисту. Розробка та впровадження пасивних методів захисту інформації виконуються силами підрядника і включає в себе наступний комплекс заходів: [15]:

- аналіз проектної документації;
- авторський нагляд за виконанням будівельно-монтажних робіт з виконання окремої частини об'єктів;
- спеціальні інструментальні дослідження реалізованих рішень для визначення адекватності вжитих заходів.

Як відомо, пасивні заходи щодо захисту інформації від витоку цінної інформації ґрунтуються на застосуванні проектних і конструкторських рішень, тому для захисту інформації від перехоплення використовуються методи

приховування енергії шляхом збільшення ослаблення середовища розповсюдження.

Для запобігання втрати інформації через лазерний канал можна застосувати наступні заходи: штори на вікна; жалюзі; спеціальні плівки на скло [25].

Варто пам'ятати, що використання тонованих плівок дає можливість легко визначити вікна з підвищеними вимогами до безпеки інформації. Вікно з плівкою виділяється на фоні інших і тому з міркувань прихованості захисту, застосовувати плівку треба на всіх вікнах, принаймні, поверху, а краще будівлі. Також можливе використання прозорих плівок, які за своїми властивостями не сильно відрізняються від тонованих. Прозора плівка не буде привертати увагу зловмисника, проте вона не забезпечить захист від візуального спостереження ззовні приміщення. При використанні прозорого покриття необхідним є встановлення додаткових засобів для запобігання прихованого спостереження (жалюзі).

Також до пасивних методів відноситься звукоізоляція і екранування. Найбільш слабкими елементами приміщення є вікна і двері. Здатність звукопоглинання вікон, а також дверей, в основному залежить від поверхневої щільності скла та рівня притиснення притворів. У таблиці 1.2. вказані деякі відомості щодо звукоізоляції найбільш поширених варіантів застеклення приміщень [25].

Звукоізоляція одинарних склопакетів відповідає звукоізоляції одинарних дверей і недостатня для того, щоб добре захистити інформацію в приміщенні. Кращу звукоізоляцію мають вікна з склопакетом із шириною повітряного зазору більше 200 мм або потрійним комбінованим склопакетом. Зазначимо, що більша кількість стекол не завжди означає краща звукоізоляція в діапазоні частот мовного сигналу, так як резонанс в повітряних проміжках між склами може знизити звукоізоляцію.

Для покращення звукоізоляції важливим є використання вікон зі склінням в роздільних рамах з величиною повітряного проміжку більше 200 мм або з потрійним комбінованим склінням (триплекс). Коливальний процес у склі так само

буде відбуватися під дією акустичного поля, але зовнішнє скло не буде відчувати великих коливань, що ускладнює знімання інформації.

Таблиця 1.2.

Звукоізоляція вікон

Схема застеклення	Звукоізоляція (дБ) на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
1	2	3	4	5	6	7
Одинарне застеклення:						
товщина 3 мм	17	17	22	28	31	32
товщина 4 мм	18	23	26	31	32	32
товщина 6 мм	22	22	26	30	27	25
Подвійне застеклення з повітряним проміжком:						
57 мм (товщина 3 мм)	15	20	32	41	49	46
90 мм (товщина 3 мм)	21	29	38	44	50	48
57 мм (товщина 4 мм)	21	31	38	46	49	35
90 мм (товщина 4 мм)	25	33	41	47	48	36

Кваліфікація супротивника, що керує лазерною системою має велике значення, так як дозволяє сфокусувати промінь розвідувального пристрою на внутрішньому склі. Таким чином покращена звукоізоляція і кількість шибок не допоможуть запобігти витоку інформації лазерним каналом.

Пластиковий склопакет володіє майже ідеальною рівною поверхнею, що спрощує знімання інформації. Скло в дерев'яній рамі являє собою нерівну поверхню, з якої знімання інформації буде важчим. У зв'язку з цим, ще одним способом захисту віконного скла від вдалого знімання інформації зловмисником, є навмисне погіршення рівності скла, тобто нанесення на скло шорсткуватих матеріалів, які сприяють дифузному відхиленню лазерного променя розвідувального приладу.

Каналами витоку можуть стати і різні предмети в приміщенні. У такому випадку слід застосовувати пасивні методи захисту, що використовують акустичні екрани.

Ефект акустичних екранів заснований на відображенні звукових хвиль і утворенні звукових тіней за екраном. З урахуванням дифракції ефективність екрану зростає в міру збільшення відповідності між розміром екрана та довжиною акустичної хвилі. Розміри ефективних екранів більш ніж у 2-3 рази перевищують довжину хвилі. Реальна ефективність акустичного екранування становить 8...10 дБ. [9].

З метою збільшення звукоізоляції приміщень також використовують звукопоглинаючі матеріали. Використання звукопоглинаючих матеріалів для захисту акустичної інформації має певні характерні особливості порівняно зі звукоізоляцією, а саме формування акустичних умов безпосередньо в просторі для забезпечення розбірливості мови в різних місцях.

Подібною вимогою є, перш за все, забезпечення оптимального співвідношення прямого і відбитого акустичних сигналів від огорожень. Надмірне звукопоглинання призводить до погіршення рівня сигналу в різних точках приміщення і великого часу реверберації - погіршення розбірливості через накладання різних звуків. Звукопоглинальні матеріали можуть мати суцільну і пористу структуру. Як правило, пористі матеріали використовуються разом з твердими суцільними матеріалами. Середні показники звукоізоляції деяких матеріалів наведені в таблиці 1.3. [9].

Таблиця 1.3.

Звукопоглинаючі властивості деяких матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт поглинання на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Цегельна стіна	0,024	0,025	0,032	0,041	0,049	0,07
Дерев'яна оббивка	0,1	0,11	0,11	0,08	0,082	0,11
Стекло одинарне	0,03	-	0,027	-	0,02	-
Штукатурка вапняна	0,025	0,04	0,06	0,085	0,043	0,058
Повсть (товщина 25 мм)	0,18	0,36	0,71	0,8	0,82	0,85
Килим з ворсом	0,09	0,08	0,21	0,27	0,27	0,37
Скляна вата (завтовшки 9 мм)	0,32	0,4	0,51	0,6	0,65	0,6
Бавовняна тканина	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35

Проаналізувавши можливі варіанти витоку інформації, можна досягти належного рівня звуко- та віброізоляції та знизити рівень небезпечних сигналів, що виникають від акустоелектричних перетворень, що дозволяє істотно зменшити, а в окремих випадках і повністю відмовитися від використання методів активного шумозаглушення. При цьому максимальне використання пасивних методів призводить до значної економії на обладнанні систем активного захисту, їх установці, а також на трудомісткому процесі налаштування.

У тому випадку, коли застосованих методів недостатньо для забезпечення належного рівня захисту, використовується комбінація активних та пасивних методів. В якості прикладу поєднання активних та пасивних методів (комбінованих) можна представити електростатичний та магнітостатичний метод захисту мовної інформації від витоку оптико-електронним каналом [42].

1.4. Основи акустичної розвідки. Характеристика лазерних систем акустичної розвідки

Акустична розвідка – це отримання інформації шляхом приймання та аналізування акустичних сигналів інфразвукового, звукового, ультразвукового діапазонів, що поширюються від об'єктів розвідки у повітряному середовищі [26].

Акустична розвідка поділяється на розвідку повітряними, вібраційними, акустоелектричними, гідроакустоелектричними, параметричними і оптоелектричними каналами витоку інформації. Така класифікація відбувається в залежності від фізичної природи виникнення таких сигналів, середовища розповсюдження коливань і можливих способів перехоплення такої інформації [45].

Оптоелектронний (лазерний) канал витоку інформації виникає при опроміненні лазерним променем тонких відбивних поверхонь (скла, вікон, картин, дзеркал тощо), що коливаються в акустичному полі. Відбите лазерне випромінювання модулюється по амплітуді та фазі та приймається оптичним приймачем випромінювання, демодуляція якого вивільняє мовну інформацію.

Лазер, що генерує лазерний промінь, і приймач оптичного випромінювання утворюють систему лазерної акустичної розвідки (ЛСАР) [30].

Розвідка мовної інформації є досить важливою сферою, так як дуже багато важливої інформації циркулює в акустичному середовищі, озвучується на різних зустрічах, нарадах і т.д. Одним з методів проведення такої розвідки є лазерні системи акустичної розвідки. Пройшло уже багато часу з моменту їх винайдення, а принципи роботи ЛСАР залишаються практично незмінними, хоча механізми ведення розвідки постійно удосконалюються та модернізуються. Так відбувається тому, що у більшості випадків зняття інформації відбувається з вібруючого скла. Майже завжди у будь-якому приміщенні є необхідність вікон, як з точки зору техніки безпеки, так і з точки зору зручності працівників. До того ж, використання лазерного мікрофону не потребує потрапляння безпосередньо на об'єкт [37].

Проблема протидії зчитуванню інформації за допомогою лазерного випромінювання залишається актуальною і одночасно однією з найменш вивчених порівняно з іншими засобами промислового шпигунства.

Зарубіжні автори [69] розглядають принципи роботи лазерних систем акустичної розвідки та їх застосування в різних областях, таких як оборона, медицина та наука про матеріали. Дана робота також висвітлює виклики, з якими стикаються дослідники у розвитку цієї технології.

Стаття [115] фокусується на використанні лазерних систем для неруйнівного контролю, зокрема для виявлення дефектів у матеріалах та оцінки їхньої якості. Вона описує різні методи акустичної розвідки, які базуються на використанні лазерів.

Заслуговує на увагу ще одна робота зарубіжних науковців [71], в якій представлено огляд сучасних досягнень у галузі лазерної ультразвукової технології, зокрема в галузі акустичної розвідки. В роботі описуються різні методи генерації та детекції ультразвуку за допомогою лазерів та їх застосування в різних областях, включаючи неруйнівний контроль, медицину та матеріалознавство.

Стрімкий розвиток техніки та електроніки дозволяє створювати все компактніші і досконаліші системи лазерного-локаційного зондування. Вже

практикується використання світло обертаючих елементів, що забезпечує повернення променя лазера в ту ж точку, з якої він був направлений. Є відомості про розробку ефективного дифузійного лазера, що дозволяє знімати сигнал зі скла під досить великим кутом.

Таким чином, лазерні системи існують і можуть при дотриманні низки умов бути досить ефективним засобом технічної розвідки. Захист мовної інформації від можливого її витоку є одним з найактуальніших завдань забезпечення інформаційної безпеки, як у державних, так і комерційних структурах [62].

У ході детального вивчення з'ясувалося, що у цій сфері практично немає серйозних розробок і методик, які дозволяють захистити голосову інформацію від втрати за допомогою систем лазерно-акустичної розвідки (ЛАР). Зрозуміло, що потрібен комплексний підхід, який передбачав би синтез активних і пасивних методів захисту мовної інформації.

Отже, на сьогодні одним з актуальних каналів витоку мовної інформації є оптоелектронний технічний канал. Перехоплення за його допомогою інформації реалізується за допомогою спеціальних засобів розвідки, що називаються лазерними системами акустичної розвідки, також вони ще відомі як «лазерні мікрофони» [76, 77].

Лазерні мікрофони – це пристрої, що дозволяють зчитувати вібрацію з поверхонь лазерним променем, який модулюється акустичним сигналом. Акустична інформація здебільшого знімається з вікон приміщень. Зняття інформації здійснюється таким чином: певна поверхня або конструкція в кімнаті опромінюється лазерним променем, який коливається в акустичному полі. Лазерний промінь модулюється за законом поверхневої вібрації і відбивається у зворотному напрямку, після чого перехоплюється приймачем ЛСАР, демодулюється і з нього виділяється мовна інформація.

1.4.1. Типи лазерів, їх властивості та характеристики

Лазер - це пристрій для генерування або посилення монохроматичного світла, яке може поширюватися на великі відстані без розсіювання та створювати високу щільність потужності випромінювання при фокусуванні [26].

В основу роботи лазерів покладено явище індукованого випромінювання.

Лазери можуть бути твердо тільними, рідкими та газовими, залежно від фізичного стану активного середовища. Лазери можна класифікувати і за довжиною хвилі, які генерує випромінювання, зокрема: лазери інфрачервоного (ІЧ), видимого, ультрафіолетового (УФ), рентгенівського діапазонів. Довжини хвиль можуть змінюватися у межах від приблизно 1 мм до 1 нм.

Типи лазерного випромінювання.

Інфрачервоне випромінювання (ІЧ) - електромагнітне випромінювання, яке охоплює спектральний діапазон між червоною межею видимого світла з довжиною хвилі 700 нм і мікрохвильовим випромінюванням з довжиною хвилі 1 мм [80].

Видиме випромінювання – це область спектра електромагнітних хвиль, що безпосередньо сприймається людським оком і характеризується довжинами хвиль від 380 до 750 нм [49].

Енергії фотонів відповідає видимий діапазон від 1,7 еВ (червоне світло) до 3 еВ (фіолетове світло). Чутливість людського ока є різною до хвиль різної частоти у видимому діапазоні. Хвилі, коротші за 380 нм, називають ультрафіолетовими, а довші за 750 нм - інфрачервоними.

Ультрафіолетове випромінювання — електромагнітне випромінювання, невидиме для людського ока і займає спектральний діапазон між видимим і рентгенівським променями в діапазоні довжин хвиль 400-10 нм [28].

Оптичні властивості речовин ультрафіолетової області спектру відрізняються від оптичних властивостей у видимій області спектра. Характерною межею є зменшення прозорості (збільшення коефіцієнту поглинання) більшості тіл, прозорих у видимій області.

Основною характеристикою лазерного випромінювання є високий ступінь монохроматичності, когерентності, направленості і яскравості. Монохроматичне випромінювання - це сукупність фотонів, що виділяються джерелом випромінювання і мають практично однакову довжину хвилі [28].

Когерентність розглядається як узгодження протікання під час декількох коливальних чи хвильових процесів, які проявляються при їх складанні [11].

Когерентність проявляється як властивість двох чи більше коливальних процесів, які здатні при накладанні взаємно підсилювати або послаблювати ефект взаємодії. Когерентність лазерного променя проявляється лише у випадках високого ступеня його монохроматичності і дуже малому розходженні лазерного променя.

Явище суперпозиції двох або більше когерентних хвиль, у результаті чого результуюча хвиля посилюється в одних місцях і послаблюється в інших, називається інтерференцією [28]. Явище інтерференції широко використовується в оптиці, радіотехніці і акустиці.

1.4.2. Типові схеми побудови ЛСАР

Існують різні схеми побудови ЛСАР [76, 77], які дають різні результати щодо якості розвідувальної інформації. Часто використовуються на практиці схеми з комбінованим лазером і фотоприймачем.

Схеми різняться в залежності від типу використовуваного лазера. Що використовується і активного середовища. Лазери можуть бути твердотільні, рідкокристалічні, газові та напівпровідникові. Газові та твердотільні лазери найчастіше використовуються для створення ЛСАР.

Для якісного захисту від ЛСАР необхідно враховувати специфіку їх експлуатації, в тому числі фактори, які негативно впливають на якість розвідки. Це дає змогу визначити можливості та на основі цього запропонувати необхідні захисні заходи.

Типова схема ЛСАР (рис. 1.8.) заснована на принципі інтерферометра Майкельсона [19]. Принцип роботи цієї схеми описується так: когерентний лазерний промінь розділяється світлороздільником (спліттером) на дві частини: опорний промінь та інформаційний промінь. Опорний промінь відбивається опорним дзеркалом і направляється на фотоприймач. Коли інформаційний промінь відбивається від шибки, він модулюється звуковою частотою. Відбитий модульований промінь надсилається на фотодетектор, де він інтерферує з опорним променем. Після фільтрації сигнал на фотодетекторі посилюється і передається на подальший аналіз.

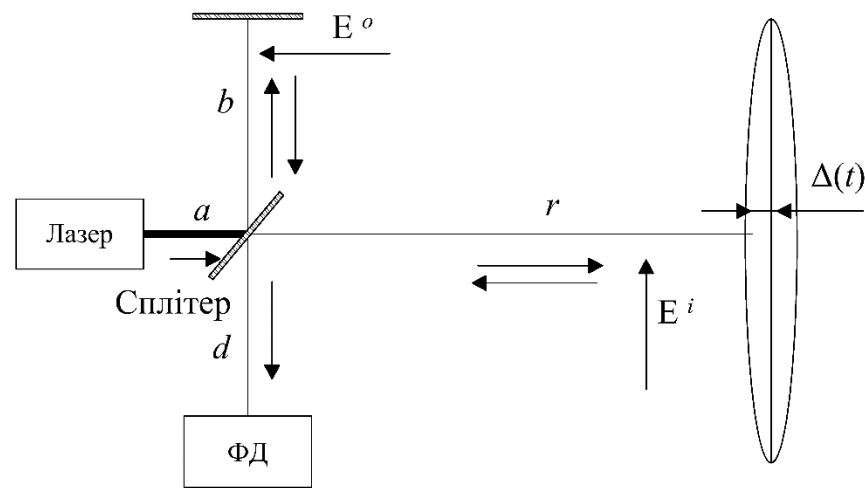


Рис. 1.8. Типова схема ЛСАР (інтерферометр Майкельсона)

Представлена схема продукує значну оптичну різницю ходу δ_1 інформаційного та опорного променів:

$$\delta_1 = (a + 2r + d + 2\Delta(t)) - (a + 2b + d) = 2(r + \Delta(t) - b) \quad (1.3)$$

Оптичну різницю ходу променів можна знайти за формулою [19]:

$$\delta = n_1 \Delta l_1 - n_2 \Delta l_2, \quad (1.4)$$

де n_1, n_2 – показники заломлення середовищ;

$\Delta l_1, \Delta l_2$ – відстані, що проходять промені

В даному випадку середовище – повітря, тому $n_1 = n_2 = 1$, а $\delta = \Delta l_1 - \Delta l_2$.

Ця схема використовується для ЛСАР з газовим лазером. Щоб використовувати ЛСАР із твердотільним лазером, типову схему необхідно модифікувати з наступних причин.

Твердотільні лазери мають низьку когерентність порівняно з газовими. Це пояснюється тим, що часова когерентність визначається часом t_k , протягом якого випромінювання, що поширюється з однієї точки джерела, залишається когерентним [19].

Зв'язок часової когерентності з монохроматичністю виражається формулою:

$$t_k = \frac{1}{\Delta\nu}, \quad (1.5)$$

де $\Delta\nu$ – ширина спектру випромінювання, Гц.

Часова когерентність тим більша, чим менша ширина спектру $\Delta\nu$ і вищий ступінь монохроматичності випромінювання.

Величина оптичної різниці на шляху двох хвиль, при якій зберігається їх здатність до інтерференції, обмежена довжиною когерентності, яка розраховується так:

$$l_k = t_k * c \quad (1.6)$$

де c – швидкість світла, м/с.

Для отримання інтерференційної картини на фотоприймачі оптична різниця в ході інформаційного і опорного пучків повинна бути менша, ніж довжина когерентності лазера ($\delta < l_k$).

На відміну від газових лазерів, твердотільні лазери мають значний частотний діапазон випромінювання (відносно велике значення $\Delta\nu$), тобто їм властива низька монохроматичність

Отже, як видно з формул (1.5) та (1.6), широкий спектр випромінювання призводить до скорочення часу когерентності t_k і довжини когерентності l_k . Для отримання чіткої інтерференційної картини варто забезпечити якнайменшу оптичну різницю на шляху інтерферуючих променів ($\delta < l_k$).

Тому для ЛСАР з твердотільним лазером використовується модифікована двопроменева схема (рис. 1.9) [19].

Її відмінність від типової схеми полягає в тому, що опорний промінь спрямований на край вікна і, відбиваючись від нього, направляється на фотоприймач.

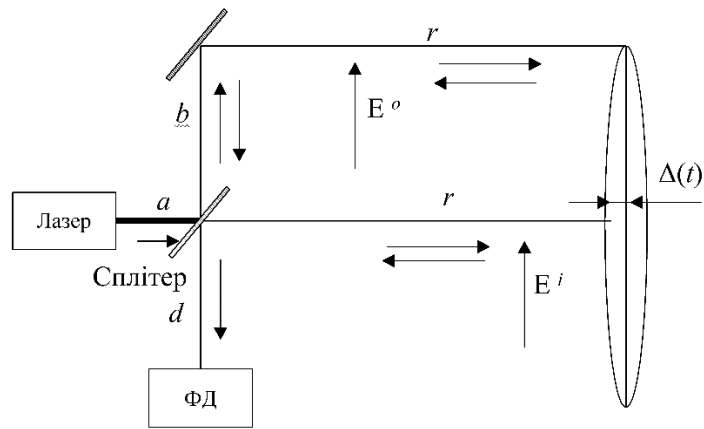


Рис. 1.9. Двопроменева схема ЛСАР

Тоді оптична різниця ходу променів розраховується так:

$$\delta_2 = (a + 2r + d + 2\Delta(t)) - (a + 2b + 2r + d) = 2(\Delta(t) - b) \quad (1.7)$$

Порівнюємо візуальні відмінності за типовою та двопроменевою схемою. Порівняння формул (1.3) і (1.7) показує, що $\delta_2 < \delta_1$. Отже, використання схеми, зображеної на рис. 1.9, дозволяє зменшити оптичну різницю на шляху променя, роблячи інтерференційну картину, отриману за допомогою твердотілого лазера, більш контрастною, тим самим підвищуючи чутливість приладу.

1.4.3. Процес зчитування акустичної інформації за допомогою ЛСАР

Виключення необхідності проникнення у приміщення є однією з головних переваг ЛСАР над іншими засобами розвідки. У спрощеному вигляді ЛСАР складається з лазерного випромінювача інфрачервоного діапазону і оптичного приймача. Принцип роботи цих пристроїв полягає в наступному. Лазерний передавач з оптичним прицілом спрямовується на плоску віброуючу поверхню (скло закритого вікна кімнати, в якій ведуться розмови). Далі генерується лазерний промінь, що поширюється через атмосферу і падає на цю поверхню. Потім відбивається від віконного скла і одночасно модулюється за законом акустичного сигналу, що також діє на скло, завжди долаючи атмосферу в протилежному напрямку і отримується фотоприймачем, який відновлює інформаційний сигнал (рис. 1.10.) [39].

Коли лазерний промінь відбивається від вібруючої поверхні, виникає частотна, кутова і фазова модуляція. Для захисту від такого роду загроз існують різні методи і заходи захисту, як активні, так і пасивні, але всі вони мають ряд недоліків: або не забезпечують належного захисту, або призводять до великих фінансових витрат, або суттєво знижують комфортність роботи в приміщенні.

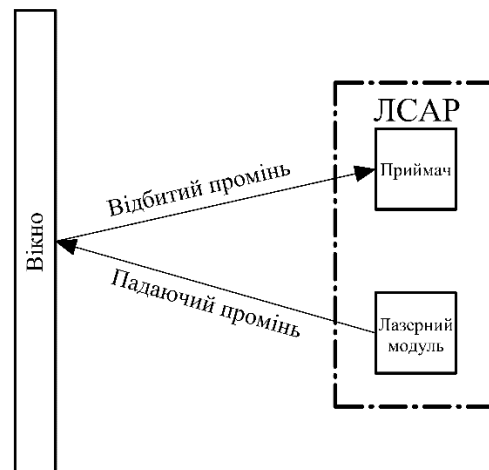


Рис. 1.10. Принцип зняття інформації з поверхні вікна приміщення

З розвитком лазерної техніки вже в 60-і роки вдалося створити перші спеціалізовані системи знімання інформації (Рис. 1.11.) [26].

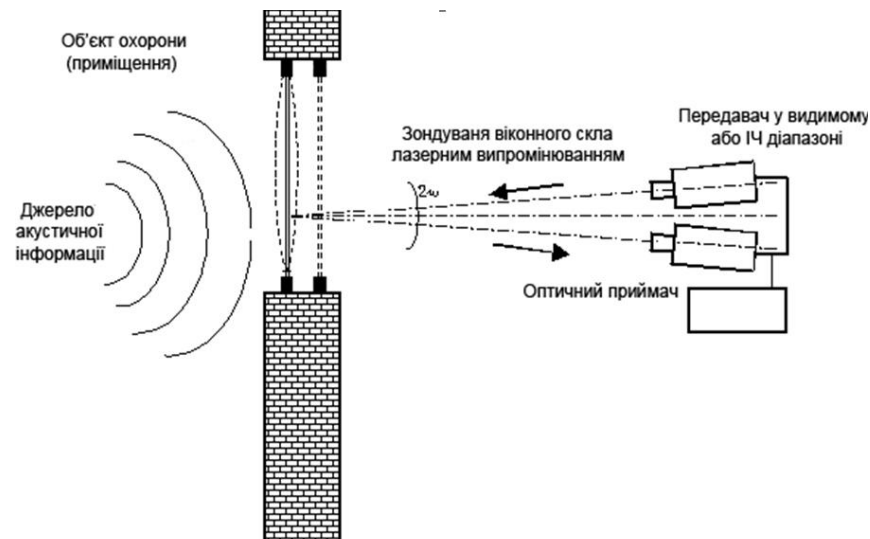


Рис. 1.11. Схема процесу зчитування акустичної інформації за допомогою ЛАСАР

Сьогодні розроблено ціле сімейство приладів лазерно-акустичної розвідки. Прикладом може служити система SIPE LASER 3-DA SUPER. Така модель

складається з гелій-неонового лазера, як джерела випромінювання, приймача випромінювання з блоком фільтру перешкод, двох навушників, акумуляторної батареї та штатива.

Лазерне випромінювання наводиться на віконне скло приміщення за допомогою телескопічного прицілу. Спеціальна оптична насадка дозволяє змінювати кут розбіжності пучка, що виходить. За допомогою системи автоматичного регулювання досягається високий рівень стабільності параметрів. Модель дозволяє якісно знімати голосову інформацію зі склопакетів на відстані до 250 м [2].

1.4.4. Технічні характеристики деяких видів лазерних систем акустичної розвідки

Успіхи і досягнення в розвитку лазерної техніки значно покращили технічні властивості та надійність цих розвідувальних систем. Лазерний пристрій фірми Hewlett-Packard НР0150 має дальність проведення розвідки до 1000 м. Окрім того, існує потенційна можливість роботи при віддаленості об'єкта на відстані 10 км [64].

Слід мати на увазі, що на якість отриманої інформації впливають такі фактори:

- параметри лазера, що використовується (довжина хвилі, потужність, когерентність і т.д.);
- параметри фотоприймача (чутливість фотоприймача, тип обробки прийнятого сигналу тощо);
- параметри атмосфери (розсіяння, поглинання, турбулентність і т.д.);
- якість обробки поверхні, що зондується (шорсткість і нерівності, як технологічно зумовлені, так і викликані впливом навколишнього середовища - бруд, подряпини тощо);
- рівень фонового акустичного шуму;
- рівень перехопленого мовного сигналу;
- специфічні місцеві умови.

Всі ці обставини негативно позначаються на якості записаної мови, тому не можна зі спокійним сумлінням знімати дані прийому з відстані в сотні метрів - ці цифри визначаються в умовах полігону або розрахунковим шляхом.

В таблиці 1.4. наведені технічні характеристики деяких видів лазерних систем акустичної розвідки [1].

Таблиця 1.4.

Технічні характеристики ЛСАР

Тип	Компонент	Тип приладу	Довжина хвилі, нм	Потужність, мВт	Фокусна відстань, мм
STG-4510-LASER	Передавач	Напівпровідниковий	800...820	5	135
	Приймач	PIN-діод	800...1000	—	500
PK-1035-SS	Передавач	Напівпровідниковий	850	5	0,5 мрад
	Приймач	Діод	800...1000	—	135
	Електронний блок	Фільтр, підсилювач, магнітофон	—	—	—
HKG GD-7800	Передавач	Напівпровідниковий	750...840	5	135
	Приймач	PIN-діод	800...1000	—	500
Сапфір-040	Передавач	Напівпровідниковий	830	10	—
	Приймач	—	Ближні ІЧ	—	—

У підсумку, зазначимо, що лазерні системи акустичної розвідки можуть бути побудовані за двома типовими схемами: роздільною та комбінованою.

В роздільній системі промінь лазера падає на скло вікна під кутом. На межі середовищ скло-повітря промінь модулюється звуковими коливаннями. Далі, відбитий промінь потрапляє на фотодетектор, який розташований таким чином, щоб кут відбитого променя до нормалі середовищ дорівнював куту падаючого

променя лазера. У фотодетекторі здійснюється амплітудна демодуляція відбитого променя. Ця система складна і вимагає юстування.

В комбінованій системі використовується розділювач променя, лазер і детектор є суміщені. Принцип роботи таких ЛСАР заснований на диференціальному методі вимірювання акустичної вібрації. Подібні системи не вимагають юстування.

Теоретичні можливості ЛСАР варіюються від сотень метрів до 1 км. Розташування ЛСАР по відношенню до об'єкту зондування відіграє важливу роль в успіху прослуховування. Найкраще функціонування ЛСАР досягається при забезпеченні перпендикулярності лазерного променя по відношенню до поверхні скла, що опромінюється. Не завжди можливо створити такі умови перехоплення інформації. Слід врахувати труднощі одержання інформації з використанням ЛСАР, якщо вікно буде періодично відкриватися.

На практиці все залежить від конкретних умов просторового застосування апаратури. Наприклад, рівень зовнішніх акустичних шумів може бути досить високий, у зв'язку з цим коливання зовнішнього скла вікна з подвійним склінням під впливом шуму вулиці перевищать амплітуду від коливань акустичного мовного сигналу. Тому обов'язковою умовою використання ЛСАР також є вивчення алгоритму її використання в різноманітних умовах.

Сучасні ЛСАР дозволяють «знімати» інформацію як із зовнішніх, так й внутрішніх шибок, дзеркал, скляних дверей та інших предметів, що знаходяться в приміщенні. Для збільшення дальності розвідки шибки обробляють спеціальною сумішшю, що значно збільшує коефіцієнт відбиття лазерного випромінювання, або встановлюють на них спеціальні спрямовані відбивачі (трипель-призми).

Лазерні акустичні системи розвідки мають дальність дії при прийомі дифузно відбитого випромінювання до 100 м, при обробці (покритті) скла спеціальним матеріалом – понад 300 м, а при установці на шибках трипель-призм - більше 500 м. [5].

Висновки до 1 розділу

У першому розділі дисертаційної роботи розкрито особливості мовної інформації як об'єкту захисту, проведено детальний огляд каналів витоку мовної інформації, наведено характеристику технічних, акустичних та оптоелектронних каналів витоку інформації, їх переваги та недоліки.

У процесі дослідження проаналізовано організаційні та технічні заходи захисту інформації, проведено порівняльну оцінку активних і пасивних методів захисту. Встановлено, що використання пасивних методів захисту може істотно знизити, або повністю відмовитися від використання більш дорогих активних методів зашумлення. На основі проведеного аналізу обґрунтовано переваги використання пасивних методів захисту інформації від ЛСАР.

В зазначеному розділі розкрито основи акустичної розвідки, охарактеризовано типи лазерів, їх властивості, приведено типові схеми побудови ЛСАР та наведено характеристику лазерних систем акустичної розвідки. З'ясовано, що основною перевагою ЛСАР порівняно з іншими засобами розвідки є можливість вирішення завдання зчитування голосової інформації без входу в приміщення для розміщення закладних пристроїв тощо.

Аналіз праць зарубіжних та вітчизняних вчених дає підстави вважати, що захист мовних даних від можливих витоків технічними каналами є одним із найважливіших завдань забезпечення інформаційної безпеки як у державних, так і в комерційних структурах. Зазначено, що проблема протидії зніманню інформації з використанням лазерного випромінювання залишається сьогодні досить актуальною і одночасно однією з найменш вивчених, у порівнянні з іншими засобами промислового шпигунства.

В результаті дослідження з'ясовано, що в цій предметній сфері здійснюються розробки, оновлюються методики, що дають можливість забезпечити захист мовної інформації від її витоку з використанням ЛСАР. Разом з тим, наголошено на необхідності системного, комплексного підходу, який би поєднував синтез активних і пасивних методів захисту мовної інформації від витоку оптоелектронним каналом.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ВІД ЛСАР

2.1. Об'єкти дослідження та їх характеристики

2.1.1. Фізико-хімічні властивості скла та їх характеристика

Скло є одним з основних матеріалів у будівництві. Основними компонентами, що входять до складу скла, є кварцовий пісок (69-74%); сода (12-16%); вапняк і доломіт (5-12%) і в невеликих частках деякі інші компоненти. До склаутворюючих речовин відносяться: оксиди сіліцію, бору, фосфору, телуру, германію, фториди алюмінію та ін.

Кожен із склаутворюючих оксидів може утворювати скло в комбінації з проміжними або модифікуючими оксидами. Скло отримує назву за видом склаутворюючого оксиду: силікатне, боратне, фосфатне, германатне і т.д. Практичне значення мають види скла простих і складних складів, що належать до силікатної, боратної, боросилікатної, фосфатної, германатної, алюмінатної, молібдатної, вольфраматної та інших систем [43].

Кожен склаутворюючий оксид може утворювати скло в комбінації з проміжними чи модифікуючими оксидами. Скло називають за типом склаутворюючого оксиду: силікатне, боратне, фосфатне, германатне та ін. Практичне застосування мають види скла простого і складного складу, до яких відносяться до силікатних, боратних, боросилікатних, фосфатних, германатних, алюмінатних та інших системи [43]. Термін «структура скла» вимагає опису двох його аспектів – геометричного, тобто - взаємного розташування атомів чи іонів у склі (структура) та електронного, тобто - характеру хімічних зв'язків між атомними чи іонними частинками скла.

Будова скла подібна до будови рідин в інтервалі температур плавлення скла. З цієї причини структурні форми склотворних розплавів і самі скла найбільш тісно пов'язані між собою.

Кисневі багатогранники, що є структурними елементами скла, не повинні істотно відрізнятися від подібних утворень в кристалах. При розробці конструкції скла враховуються вимоги до експлуатаційних характеристик волокон і технологічні параметри виробництва. Структура скла, як і будь-якого фізичного тіла, складається з двох основних компонентів:

- сукупність іонів матеріального складу скла, які представляють собою іонний ресурс структури;
- низка хімічних зв'язків, які реалізуються в склі під час процесу склоутворення та зв'язують іонний ресурс у тверду речовину [73].

Це говорить про те, що матеріальний набір іонів, що входять до складу скла, безпосередньо не визначає його властивості, а лише безпосередньо впливає на них. Структура силікатного скла змінюється в залежності від вмісту багатозарядних іонів і катіонів лужних і лужноземельних елементів, що відбивається на їх властивостях при високій температурі і високому тиску.

Крім основної сировини, також використовуються різні добавки, наприклад, щоб пофарбувати скло в потрібний колір або змінити інші властивості скла.

Оксидні модифікатори самі по собі не здатні створити суцільну решітку, але їх дія зазвичай обмежується ослабленням структурної решітки скла. Типовим прикладом таких оксидів є натрій оксид. При введенні його в кварцове скло утворюється силікатно-натрієве скло з відповідними структурними змінами.

Лужноземельні оксиди, такі як MgO , CaO та BaO , також діють як оксиди, які розривають безперервну структурну силікатну сітку: катіони металів займають міжвузля, а іони кисню проникають у скло та утворюють зв'язки з кремнієм. Для двовалентних катіонів (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+}) один катіон повинен відповідати одній парі незв'язаних іонів кисню, тоді як для одновалентних катіонів (Li^+ , Na^+ , K^+) потрібні два катіони для кожної пари незв'язаних іонів кисню [22].

Такий аналіз дає змогу встановити, що для надання певних фізичних властивостей до складу скла вводять оксиди різних металів (найчастіше лужних і

лужноземельних). Фізико-хімічні властивості скла залежать від його складу і ступеня обробки. Лужні оксиди знижують міцність скла [3].

Флоат-процес в основному використовується для отримання листового скла. У цьому процесі скло виходить з печі у вигляді плоскої стрічки, а потім проходить через ванну з розплавленим оловом і йде для подальшого охолодження та відпалу. Перевагами флоат-процесу перед іншими є стабільна товщина скла; якісна поверхня, яка не потребує подальшого полірування; відсутність дефектів оптичних; висока продуктивність. Різноманітність видів скла дозволяє використовувати його у багатьох сферах діяльності (рис. 2.1.) [31].

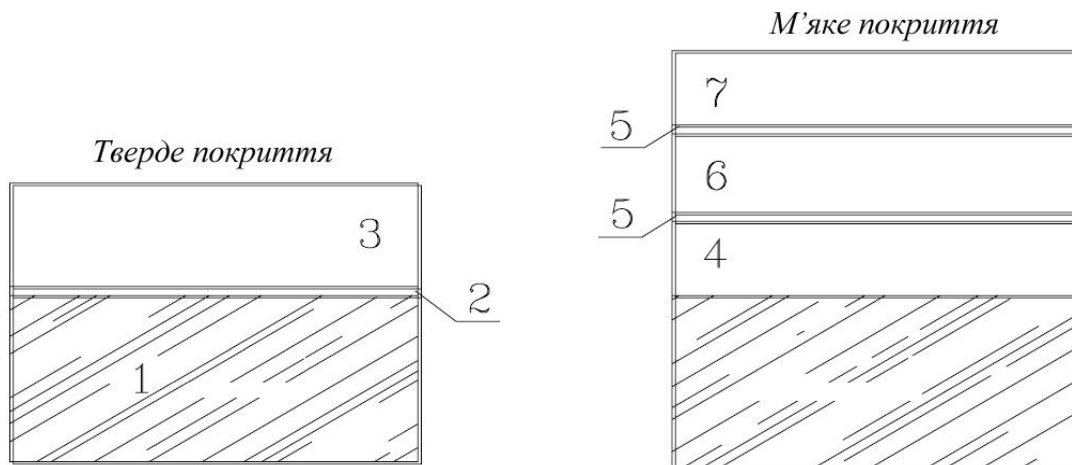


Рис.2.1 Склад шарів низькоемісійних покриттів

1 – флоат-скло; 2 – шар натрію, блокуючий дифузію; 3 – шар оксиду олова; 4 – адгезійний шар; 5 – блокуючі шари; 6 – шар срібла; 7 – покриваючий шар

Основними специфічними властивостями скла є його оптичні властивості: прозорість, відбивання, розсіювання, поглинання і заломлення світла. Звичайне, нетоноване листове скло пропускає до 90% видимого і частково інфрачервоного світла, відбиває близько 8% і поглинає близько 1%. Ультрафіолетове випромінювання практично повністю поглинається. Кварцове скло прозоре для ультрафіолетового випромінювання. Показник заломлення скла 1,47 – 1,96; коефіцієнт розсіювання (дисперсія) знаходиться в межах 20 – 71. Скло з більшим вмістом РвО поглинає рентгенівське випромінювання.

2.1.1.1. Характеристики віконного скла, розповсюдженого в Україні

Для скління віконних прорізів використовується витягнуте або флоат-листова скло з коефіцієнтом світло пропускання від 84 до 90%. На сьогоднішній день склопакети для вікон виготовляють з флоат-скла [31].

Скло віконне листове поліроване марок М1, М4, виготовлене за флоат-технологією (ЗАТ Лисичанський склозавод «Пролетарій»). Коефіцієнт пропускання світла - 0,89, відбивання - 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,83, поглинання сонячної енергії - 0,11, коефіцієнт теплопередачі - 5,8 Вт/м² [38, 95].

Флоат-скло компанії «Saint-Gobain Glass» марки SGG Diamant (Франція). Коефіцієнт світло пропускання – 0.91, відбивання - 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,88, поглинання сонячної енергії - 0,02 [98].

Флоат-скло з магнетронним покриттям компанії «Guardian» марки ExtraClear (США). Коефіцієнт світло пропускання – 0.81, відбивання - 0,12, пряме пропускання сонячної енергії - 0,89, поглинання сонячної енергії - 0,16 [65, 66].

Euroglas Eurofloat - скло без покриття компанії Euroglas (Німеччина). Коефіцієнт світлопропускання – 0.89-0,91, відбивання - 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,83 – 0,87, поглинання сонячної енергії - 0,05-0,10 [63].

Pilkington Optifloat - флоат-скло компанії по виробництву листового скла NSG Group, що працює під брендом Pilkington (Великобританія). Коефіцієнт світло пропускання – 0,75, відбивання - 0,07, пряме пропускання сонячної енергії - 0,71, поглинання сонячної енергії - 0,44-0,10 [94].

Orionglass – найновітніше, листове, безпечне (загартоване) скло компанії Євроглас (Україна). Коефіцієнт світло пропускання - 0,89 , відбивання – 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,11, поглинання сонячної енергії - >25%, коефіцієнт теплопередачі - 5,8 Вт/м² [92].

2.1.2. Захисні плівки та їх характеристики

2.1.2.1. Класифікація захисних плівок за технологією виготовлення та прозорістю

На рис. 2.2. наведена класифікація захисних плівок за технологією виготовлення та прозорістю [32]. З наведених вище технологій захисних плівок найбільш актуальними для захисту інформації є металізовані плівки та спатерні плівки. Вони здатні відбивати випромінювання в ближньому та середньому інфрачервоному діапазоні і можуть використовуватися для блокування зчитування коливань скла від лазерних променів.

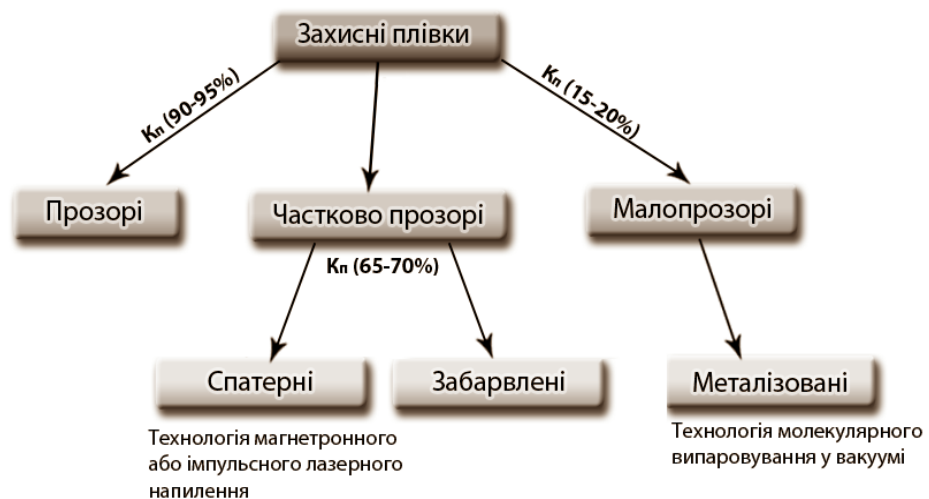


Рис. 2.2. Класифікація захисних плівок за прозорістю та технологію виготовлення, K_p – коефіцієнт прозорості

Виготовляються як безбарвні (прозорі), так і тоновані захисні плівки. Всі плівки мають захисне покриття для запобігання подряпинам. Захисна плівка очищається будь-яким засобом для миття скла. Товщина плівок від 112 до 380 мікрметрів. Плівки наносяться безпосередньо на внутрішню поверхню скла. Плівку, нанесену кваліфікованими фахівцями, не видно на склі і вона становить з ним одне ціле (рис. 2.3.) [32].

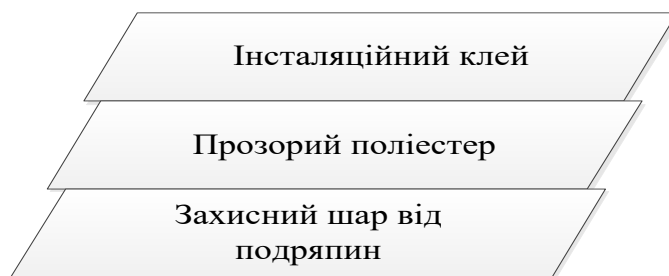


Рис. 2.3. Структура прозорої плівки

До металізованих плівок відносять SMS5, SMS8 плівки, що містять шар металізованого поліестеру, ламінованого шаром прозорого поліестеру та шаром захисного прозорого поліестеру відповідної товщини. Крім того, плівки мають захисний шар від подряпин і монтажний клей. Монтажний клей являє собою термостійкий акриловий шар і містить УФ-поглиначі та стабілізатори (рис. 2.4) [14].



Рис. 2.4. Структура металізованої плівки

Металізовані плівки володіють здатністю створювати ефект односторонньої видимості, виключають втрату інформації по електромагнітних і віброакустичних каналах. Захисні плівки з металевим напиленням можуть знижувати інтенсивність мікрохвильового випромінювання (енергії високочастотного діапазону) або повністю фільтрувати його.

До групи пофарбовані-металізовані відносять плівки SMBx, SMGx, які містять шар металізованого поліестера, ламінований шаром пофарбованого

поліестера та шар захисного прозорого поліестера відповідної товщини (Рис. 2.5.) [32].



Рис. 2.5. Структура пофарбованої-металізованої плівки

Тобто, відмінність від металізованих захисних плівок Glass-Gard проявляється тільки в тому, що для ламінації металізованого поліестера використовується не прозорий, а пофарбований поліестер [14].

Спаттерінгове напилення - це процес нанесення плівки атомарної товщини майже будь-якого матеріалу на будь-яку поверхню. Поєднання товстих і тонких шарів утворює складну багатошарову структуру. За цією технологією можна виготовляти захисні плівки (або сонцезахисні) з будь-якою кількістю шарів і з будь-яких матеріалів. Завдяки процесу спаттерінгового напилення можна отримати кристалево чисту плівку, яка надає природний вигляд без видимих спотворень [14].

Високоякісні матеріальні сплави, що використовуються в даному процесі, роблять плівку більш міцною і зносостійкою.

Після металізації методом спаттерінга рулон плівки загортається в поліетилен для запобігання попадання на нього пилу і доставляється в цех склейки. Після нанесення клею плівку висушують до повного випаровування розчинника. Зверху наклеюються додаткові шари - або прозора плівка для зміцнення, або тонована плівка для додання потрібного кольору. Процес

склеювання шарів контролюється лазерним сканером для виявлення найдрібніших сторонніх частинок (рис. 2.6.) [14].



Рис. 2.6. Структура спаттерної плівки

Основні функції, що виконують захисні плівки при нанесенні на скляну поверхню – це підвищення ударостійкості, надання властивостей безпечного скла, теплоізоляція, захист від ультрафіолетового випромінювання, підвищення вогнестійкості, шумозахист, тонування, запобігання витоку інформації та ін.

2.1.2.2. Плівки, що використовуються для захисту інформації

Плівки «Signals Defenses» – це оптично прозорі віконні плівки, що послаблюють радіочастотні хвилі та інфрачервоне випромінювання. Використання плівок на склі забезпечує конфіденційність, захист даних та акустичної інформації. При необхідності такі плівки можуть мати ударостійкі та вибухозахисні властивості [101].

З 2000 року уряд США використовує плівки Signals Defenses для ослаблення радіочастотних сигналів та оптичного інфрачервоного випромінювання з високим коефіцієнтом пропускання видимого світла та низькою відбивною здатністю. Це зменшує вплив пристроїв, що працюють у цих діапазонах, особливо лазерних мікрофонів.

Так як плівки забезпечують високе ослаблення високочастотних сигналів і оптичного випромінювання інфрачервоного спектру, можливе встановлення вікон на об'єктах інформаційної безпеки. Вони встановлені в більш ніж 400 державних установах США. Міністерство оборони США зазначило, що використання плівок Signals Defenses є найбільш економічно ефективним способом зменшення кількості пристроїв для підслуховування та шпигунства.

Плівка SD2500 відповідає високим стандартам Агентства національної безпеки США, а плівка SD1000 і SD2500 відповідає вимогам, викладеним у вказівках Розвідувального співтовариства та інших урядових організацій США.

Плівки Signals Defenses забезпечують захист від технологій бездротової передачі даних, у тому числі Wireless LAN або 802.11, завдяки ослабленню радіочастотних сигналів, застосовуючи принцип «безпека за рахунок відмови», а саме запобігаючи проникненню радіочастотних хвиль у приміщення [101].

Плівки використовуються для поглинання радіочастотних хвиль і створення бар'єрів для електромагнітного випромінювання для захисту пристроїв і людей від їх впливу.

Завдяки високому коефіцієнту відбиття сонячного випромінювання вони також є енергозберігаючими без шкоди для оптичної прозорості.

У таблиці 2.1 наведено оптичні характеристики плівок, що використовуються у сфері захисту інформації, які підтверджують високу ефективність деяких видів плівок для захисту приміщень від витоку інформації через вікна оптоелектронним каналом [14].

Розробка різноманітних покриттів та відповідно спеціалізованих плівок є одним з найактуальніших та найперспективніших напрямків пасивного захисту мовної інформації. В даному напрямку роботи почалися практично недавно, як правило, створено багато плівок з вузькоспрямованими характеристиками (протиударні, антиблікові, затемнюючі, та ін.)

Таблиця 2.1

Оптичні характеристики плівок

Плівка, (фірма, країна)	Назва плівки, марка	діапазон випромінювання, нм	Кпроп, %	Котр, %	Кпогл, %	Оптична прозорість, %
Signals Defenses (ASTIC Signals Defenses, США)	Signals Defenses, SD2500	800 -2500	<1			53
	SD1000		<3			70
LLumar (CPFilms, США)	R 20 SR CDF	400 - 800	12	55	33	63
	R 15 GO SR HPR					60
Solar Gard (Solar Gard Corporate, США)	4MIL Solar Bronze 175	800 -2500	9	50	41	18
	8MIL Silver 80		10	51	39	14
	4MIL Silver 80		11	52	37	17
	2MIL Clear		83	8	9	89
	8MIL Clear		82	9	9	89
	SD100		10			70

До протиударних можна віднести плівки фірм Kingshield та 3М, які працюють за принципом ударостійкого скла і наносяться на зовнішню сторону скла [55, 110].

До антиблікових відносяться плівки фірм Guardian, 3М, які працюють за принципом світловідбивача та поглинача сонячного та ультрафіолетового випромінювання. Ці плівки, на відміну від протиударних наносяться на внутрішню сторону скла [50].

Яскравими представниками затемнюючих плівок є Gila, SmartTint, 3М. Такі плівки в основному виступають як затемнювачі сонячного проміння та світла,

однак, як і в антиблікових, у них присутній ефект поглинання випромінювання, хоч і не такий значний [50, 101, 103].

Розроблені плівки «Signals Defenses» крім ударостійких та антивибухових властивостей мають ще ефект послаблення радіочастотних хвиль та інфрачервоного випромінювання. Застосування таких плівок на склі забезпечує приватність, захист даних та акустичної інформації.

На сьогоднішній день антилазерні покриття знаходяться в процесі розробки. Тому дослідження захисних властивостей скла від лазерного зондування в залежності від його елементного складу та з використанням захисних покриттів є актуальними. Відповідно, в цьому напрямку нами були проведені попередні експериментальні дослідження [10, 61, 62].

2.1.2.3. Характеристики захисних плівок, розповсюджених в Україні

Прозора плівка для захисту скла від руйнування SMC 12 (компанія Solamatrix Inc заводу виробника плівок Sun-Gard та Glass-Gard), складається з двох шарів прозорого поліестера, інсталяційного клею та проти подряпного шару. Інсталяційний клей - це самоклеючий акриловий шар, який є термостійким і містить УФ-поглиначі та стабілізатори. Коефіцієнт світло пропускання – 0,87, відбивання - 0,09, пряме пропускання сонячної енергії - 0,75, поглинання сонячної енергії - 0,18 [24].

Плівки Ritrama Translucent series (світлорозсіююча) та Transparent series (вітражна). Translucent series - ПВХ-плівка на клеєвій основі зі стійкими полімерними пластифікаторами, що забезпечують її еластичність і стабільність розмірів. Дана плівка розроблена для довгострокового використання зовні і всередині приміщень при виготовленні високоякісної світлової реклами. Transparent series - мономерний прозорий вініл на клеєвій основі з блискучою глянцевою поверхнею. Дана серія використовується при виготовленні вітражів, вітрин, лайтбоксів, світлової реклами з внутрішньою підсвіткою, тонуванні фар і стекол транспортних засобів, а також при оформленні кольорових скляних

поверхонь з підсвічуванням. Плівка легко обробляється на ріжучих плоттерах. Підходить для наклеювання сухим і вологим способами [40].

Ogacal 640 – м'яка поліхлорвінілова прозора плівка з антиподряпним покриттям. Поверхня матова. Тип клею – водостійкий поліакрил. Плівку використовують для розміщення ззовні приміщень в несприятливих кліматичних умовах [68].

2.2. Методи та методики дослідження захищеності віконного скла від лазерного зондування

2.2.1. Метод рентгенофлуоресцентного аналізу елементного складу скла

Елементний аналіз скла, найбільш поширеного на ринку України, було проведено на рентгенофлуоресцентному аналізаторі елементного складу «EXPERT 3L» [2].

Суть рентгенофлуоресцентного методу полягає в тому, що на зразок діє первинне рентгенівське випромінювання, під впливом якого утворюється вторинне випромінювання, яке залежить від якісного та кількісного складу досліджуваної речовини. Універсальне калібрування, що зберігається протягом усього терміну експлуатації приладу, дозволяє не тільки працювати з аналізатором без використання стандартних зразків, але й проводити якісний і кількісний багатоелементний аналіз зразків будь-якого (особливо невідомого) складу і будь-якої форми без попереднього налаштування та калібрування.

Модель «EXPERT 3L» дозволяє кількісно визначати елементи від 12 Mg до 92 U у всіх типах сплавів (як стандартних, так і нестандартних). Аналізатор «EXPERT 3L» також може бути використаний для проведення якісного та оціночного кількісного елементного аналізу різних типів неметалічних зразків (полімерні і мастильні матеріали, будматеріали, руди, мінерали та ін. об'єкти природного і штучного походження і т.п.). За наявності відповідних еталонів хімічного складу зазначених об'єктів може проводитися їх прецизійний кількісний

аналіз. Результатом вимірювання є таблиця виявлених у зразку хімічних елементів і відповідних їм масових концентрацій з похибкою визначення 0,01% мас. частки.

2.2.2. Метод спектрального аналізу скла

Спектральний аналіз скла було проведено на спектрофотометрі Shimadzu UV-3600. Прилад призначений для проведення спектральних досліджень в УФ та інфрачервоному діапазонах ближнього і видимого спектра. Технічні характеристики наведені в таблиці 2.2. [105, 109]

Таблиця 2.2.

Технічні характеристики спектрофотометра Shimadzu UV-3600

Спектральний діапазон	185 нм – 3300 нм
Ширина спектральної щілини	8 – ступінчата: 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 5, 8 нм для УФ/видимої області 10 – ступінчата 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 5, 8, 12, 20, 32 нм для ближньої ІЧ області
Роздільна здатність	0.1 нм
Похибка за шкалою довжин хвиль	± 0.2 нм для УФ/видимої області ± 0.8 нм для ближньої ІЧ області
Рівень розсіяного випромінювання	< 0.00008% (220 нм, NaI) < 0.00005% (340 нм, NaNO ₂) < 0.0005% (1420 нм, H ₂ O)
Рівень шуму	0.00005 Abs (500 нм), 0.00008 Abs (900 нм),
Оптична схема	Двопроменева

Отримані результати виводились у вигляді графіків і таблиць за допомогою програмного забезпечення UVProbe, що включає в себе функції для вимірювання спектра, кількісного аналізу та кінетики.

2.2.3. Метод симплекс-решітчатого планування при моделюванні характеристик скла

В даній роботі показана доцільність використання методу симплекс-решітчатого планування при моделюванні складу скла з певними захисними властивостями, що продемонстровано на прикладі аналізу залежності коефіцієнту відбивання від концентрації трьох складових елементів скла (Ca, Na, S).

У випадку вирішення завдань оптимізації складу багатокомпонентної суміші часто застосовується метод активного планування експерименту для дослідження систем склад-властивість. Оскільки сума часток усіх компонентів, що утворюють суміш, дорівнює одиниці, факторний простір можна представити правильним симплексом, наприклад, для трьох компонентів - правильним трикутником, як у нашому випадку. Властивості складу досліджуються в заданих точках симплекса, які утворюють симплексну решітку.

У потрібній (трикомпонентній) суміші кожна точка на трикутній діаграмі відповідає чітко визначеному складу, а кожна композиція відповідає точці на діаграмі. У кожній вершині трикутної діаграми вміст компонента становить 100%. З протилежного боку цієї вершини вміст цієї компоненти дорівнює нулю. Сторони трикутника відповідають бінарним сумішам [46].

В результаті дослідження було побудовано концентраційний трикутник Гіббса залежності коефіцієнту відбивання скла від концентрації кальцію (Ca), натрію (Na) та сірки (S). Виведена залежність коефіцієнту відбивання від концентрації трьох складових елементів скла (Ca, Na, S) продемонструвала, що коефіцієнт відбивання можна зменшити шляхом зменшення концентрації кальцію (Ca) та натрію (Na) у склі.

2.2.4. Методика дослідження властивостей захисних оптичних шарів

Як уже зазначалося вище, звичайні металізовані плівки непогано проявили себе у сфері захисту інформації, проте ці плівки мали низку недоліків пов'язаних зі

значеннями пропускання видимого світла (12-20%) та значеннями відбиття короткохвильової області ІЧ випромінювання (55-60%). Спираючись на слабкі сторони розглянутих плівок пропонується розглянути вдосконалену структуру захисної плівки.

Як захисні оптичні покриття було вибрано провідник - електропровідний полімер поліаналін фірми Sigma-Aldrich (США), діелектрик - шар діоксиду гафнію та напівпровідник - ВаCuTeF. Ці матеріали є прозорими, досить широко застосовуються в сучасних технологіях і отримання шарів на їх основі не представляє особливих проблем.

Електропровідний полімер aldrich polyaniline [97] широко використовують завдяки високій спорідненості до поверхонь різної природи. На сьогоднішній день отримані поліанілінові покриття на поверхнях матеріалів різної полімерної природи та геометричної форми мають оптичні, адсорбційні, електроактивні, каталітичні, механоелектричні, електромеханічні властивості, та здатність поглинати електромагнітне випромінювання. В залежності від морфології поверхні поліанілінових плівок можна змінювати їх інтенсивність поглинання світла [84].

Одношарові відбиваючі покриття використовують, якщо потрібно отримати збільшення коефіцієнту відбивання на певній довжині хвилі або в діапазоні довжин хвиль. В даній роботі в якості напилювача було обрано діелектрик діоксид гафнію, так як його показник заломлення набагато більший, ніж у скла (1,98), він є стійким до зовнішніх впливів та широко використовується в якості інтерференційного покриття для оптики [24].

Нанесення прозорих провідникових та діелектричних одношарових покриттів проводилось методом вакуумного напилення в кисневому середовищі на установці фірми «ТОРР» (США) у вакуумі $1.5 \cdot 10^{-4}$ Torr, обертанні підкладок з швидкістю 20-40 об/хв для рівномірності напилення матеріалу. Температура підкладки 166°C . Шари напиляли товщиною 100 нм.

Режими електронно-променевого розпилювання: струм розжарення катода $I_{\text{кат}}=40$ А; струм емісії електронного пучка $I_{\text{ем}}=120$ мА; прискорююча напруга $U=9$ кV.

Товщину плівки та швидкість напилення контролювали за допомогою кварцевого датчика товщини, покази якого виведені на блок SQC-330 Digital Deposition Controller. Паралельно відслідковували зміну коефіцієнту відбивання на певній довжині хвилі, що була задана за допомогою набору фільтрів (400 нм., 600 нм., 800 нм., 1000 нм.), в залежності від товщини напиленої плівки в режимі реального часу з допомогою АЦП, який дозволяє відтворювати на екрані покази оптичного монітору у вигляді графічної залежності коефіцієнта відбивання від часу напилення. Процес охолодження підкладок проводили з швидкістю 3°C/хв.

Отримані зразки перевіряли за допомогою спектрофотометра SHIMADZU, який дозволяє вимірювати спектр отриманих плівок у режимі відбиття та пропускання в діапазоні довжин хвиль 300 - 1500 нм. [109].

У статті [114] описується захисна плівка спаттерна, виготовлена методом магнетронного напилення, використання якої може захистити голосову інформацію, що циркулює в приміщенні, від ЛСАР та протистоїть механічним пошкодженням скла, тим самим захищаючи приміщення від проникнення злоумисників. Представлена захисна плівка складається з полімерної плівки-підкладки і двох шарів, здатних блокувати інфрачервоне випромінювання. Тією сполукою, яка може блокувати інфрачервоне випромінювання, є оксид індію та олова, такий як In_2SnO_3 . Цей матеріал здатний блокувати ІЧ-випромінювання в діапазоні від 1400 до 2500 нм. Однак, враховуючи робочі діапазони пристроїв ЛСАР, можна сказати, що використання цієї плівки не є ефективним у вирішенні завдань даної роботи. Крім того, індій є рідкісним металом і має відносно високу ціну, яка постійно зростає.

Виходячи з того, що використання розглянутого раніше оксиду металу не є актуальним для створення повноцінного захисту, в роботі представлено дослідження властивостей альтернативного ІТО (оксиду індію та олова) шару плівкового покриття BaCuTeF .

Напівпровідникові плівки BaCuTeF отримано методом імпульсного лазерного напилення підкладки при кімнатній температурі та подальшого відпалу в атмосфері аргону. Процес лазерного напилення був обраний через можливість

стехіометричного розпилення матеріалу. Для кристалізації отриманих аморфних плівок проводили відпал в атмосфері аргону.

Плівки ВаCuTeF наносилися на полікристалічну кварцову підкладку розміром 3×3 см. Перед напиленням поверхню піддавали триетапному очищенню в ультразвуковій ванні. Для очищення використовували ацетон, метанол і деіонізовану воду. Крім того, після установки підкладки у вакуумній камері, їх відпалювали при температурі 300 °С для десорбції атмосферних газів, які могли бути в поверхневому шарі полікристалічного кварцу. .

Ексімерний KrF-лазер з довжиною хвилі 248 нм використовувався для розпилення на матеріал мішені. Щільність потоку лазерного випромінювання на поверхні мішені під час напилення становила 1 Дж/см². Щоб запобігти локальному перегріву та забезпечити рівномірну товщину плівки, як мішень, так і підкладку обертали. Плівка напилювалась у вакуумі із залишковим тиском 10⁻⁶ Тор на відстані від мішені до підкладки 6 см. Для забезпечення необхідної товщини та однорідності плівки проводили лазерне імпульсне напилення з частотою 7 Гц протягом 238 хв [36]. Напилення проводили на підкладку при кімнатній температурі, в наслідок чого отримували тонку напівпрозору аморфну плівку.

2.2.5. Методика дослідження розсіювання лазерного променя на дифракційній ґратці з шару гафнію

За допомогою діелектричних покриттів можна спеціально збільшити коефіцієнт відбиття скла в 5-6 разів. Це відбувається через оптичну інтерференцію, коли показник заломлення досить великий, а товщина шару кратна 1/4 і 3/4 довжини хвилі. Мова йде про малопоглинаючі матеріали з високим показником заломлення.

Вибіркове відбиття значно посилюється багат шаровим покриттям з різним показником заломлення. Світлопропускання може при цьому становити 80% і більше.

В нашій роботі напилення діелектричного покриття здійснювалось за допомогою установки вакуумного напилення фірми TORR (USA) [75] при вакуумі

10^{-1} мм.рт.ст. $1.5 \cdot 10^{-4}$ Torr при обертанні підкладок з швидкістю обертання 20-40 об/хв. Для визначення зміни коефіцієнта відбивання покриття в процесі напилення використовували оптичний монітор Dyn-optic Model 590 [91].

Перед початком процесу очищаємо підковпачний пристрій з допомогою бязевої серветки, змоченої етиловим спиртом. Попередньо очищену підкладку для напилення закріплюють в підкладкотримачі у верхній частині установки. Також кріпимо підготовлений зразок в тримач, з допомогою поворотних гвинтів, виставляємо максимальний показник відбивання, який відображається на приладі оптичного контролю Dyn Optics Model 590. Зразок готується з того ж матеріалу, що і підкладка.

З метою уникнення подвійного відбивання променя оптичного монітору, зворотня сторона підкладки зразка зішліфовується (заматовується). Напилюючу речовину поміщають в одну з лунок мідної плити водоохолоджуючого тигля (при напиленні багат шарового покриття матеріали поміщають в різні лунки).

Закриваємо підковпачний об'єм і проводимо процес відкачки до робочого тиску $5 \cdot 10^{-6}$ мм.рт.ст.. Для цього вмикаєм форвакуумний насос, при досягненні вакууму 10^{-1} мм.рт.ст. автоматично включається турбомолекулярний насос і проводиться процес досягнення високого вакууму. Включаємо механізм обертання підкладок з швидкістю обертання 20-40 об/хв для рівномірності нагріву підкладок та рівномірності напилення матеріалу на підкладку. Вмикаємо нагрівач підкладки і плавно піднімаєм температуру протягом деякого часу. Напускаємо кисень в камеру, включаємо блок живлення електронно-променевої пушки, вмикаємо струм розжарення катоду, виставляємо прискорюючу напругу та плавно піднімаємо струм емісії.

Електронний промінь створюється, використовуючи живлення для нагріву вольфрамової спіралі катоду, одночасно подаючи на неї високий негативний потенціал, який прискорює сфокусований магнітами пучок електронів (Рис. 2.7).

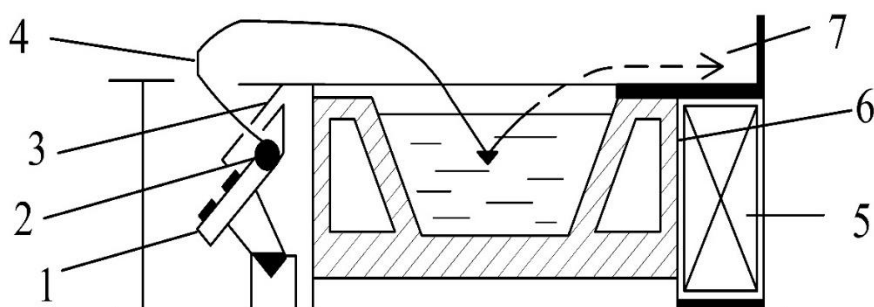


Рис. 2.7. Схема плоско-променевої електронної пушки:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 – катодний вузол; | 5 – пристрій магнітного повороту електронів; |
| 2 – термоелектронний катод; | 6 – водоохолоджуючий мідний тигель; |
| 3 – анод; | 7 – промінь напилюючої речовини |
| 4 – прискорений пучок електронів; | |

Електромагніт, що вмонтований в мідну плиту, формує напрямок руху електронного пучка. Зігнутий під кутом 270° промінь ударяється в напилюючу речовину, що знаходяться в тиглі. Сфокусований електронний промінь перетворює свою кінетичну енергію в теплову на поверхні матеріалу, що призводить до випаровування.

Одночасно включаємо блок X-Y програмований диспетчер руху променя, з допомогою X-Y зміщення виводимо електронний пучок на центр тигля з випаровуванням матеріалом, з допомогою опції Select Pattern виставляємо параметр обертання променя «концентричні кола». Процес початку напилення та виходу на режим відслідковуємо з допомогою кварцевого монітору товщини, що відображається на пристрої SQC-330 Digitall Deposition Controller. Як тільки процес стабілізувався, відкриваємо заслонку, і починаємо напилювати на підкладку.

Товщину плівки та швидкість напилення контролюємо з допомогою кварцевого датчика товщини, покази якого виведені на блок SQC-330 Digitall Deposition Controller. Паралельно відслідковуємо зміну коефіцієнту відбивання на певній довжині хвилі, яка задається та виставляється з допомогою набору фільтрів (400 нм., 600 нм., 800 нм., 1000 нм.), в залежності від товщини напиленої плівки в режимі реального часу з допомогою АЦП, який дозволяє відтворювати на екрані покази оптичного монітору у вигляді графічної залежності коефіцієнта відбивання від часу напилення. При досягненні відповідної товщини плівки або необхідного

показника відбивання, заслінка закривається, живлення електронного променя також вимикається з допомогою вимикача DC, вимикаємо X-Y програмований диспетчер руху променя, закривається подача кисню в камеру, також вимикаємо SQC-330 та оптичний монітор. Виставляємо на блоці нагріву та охолодження підкладок процес охолодження, з швидкістю охолодження $3^{\circ}\text{C}/\text{хв}$. Очікуємо охолодження підкладки до 20°C .

При досягненні потрібної температури повертаєм тумблер «вакуум on/off» в положення OFF і запускаємо азоту в камеру. Знімаємо підкладки з підкладко тримача і поміщаємо їх в ексикатор.

При напиленні наступного шару, ми вимикаємо прискорюючу напругу, чекаємо охолодження тигля, і перемикаємо з допомогою блоку перемикування тиглів, підводимо тигель з наступним матеріалом для напилення наступного шару, процедуру напилення повторюємо за вище вказаною методикою.

При досягненні підкладкою кімнатної температури, проводимо її демонтаж з подальшим аналізом спектру відбивання напиленого багат шарового покриття. При нанесенні покриття безпосередньо на активний елемент лазера, спектральні характеристики знімаються зі зразка, щоб не пошкодити сам елемент лазера.

Одношарові відбиваючі покриття використовують, якщо потрібно отримати збільшення коефіцієнту відбивання на певній довжині хвилі або в діапазоні довжин хвиль.

Дуже часто при напиленні нових матеріалів доводиться вимірювати показники заломлення експериментально, з допомогою методу еліпсометрії, оскільки не завжди реальні показники заломлення відповідають показникам зазначеним в довідковій літературі.

В нашій роботі в якості напилювача було обрано діоксид гафнію, оскільки він є стійким до зовнішніх впливів та широко використовується в якості інтерференційного покриття для оптики [86].

Аналіз літературних джерел дозволив сформувати таблицю 2.3., де наведено властивості найпоширеніших оксидів, що використовуються для напилення

захисних та інтерференційних покриттів, що відповідно, мають високі показники заломлення (відбивання) [36].

Таблиця 2.3.

Оксиди, які застосовують при напиленні захисних покриттів

Назва	Форма випуску і діаметр (мм)	Показник заломлення	Область прозорості, мкм
Алюміній оксид для вакуумного випаровування	гранули 1-10 таблетки Ø 12-25	1,63	0,25-7
Церій (IV) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	1,96	0,4-12
Європій окис для вакуумного випаровування	таблетки Ø 12-25	1,75	0,25-9
Гафній (IV) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	1,98	0,2-12
Індій (III) - олово (IV) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	1,80	0,35-9
Магній окис для вакуумного випаровування	таблетки Ø 12-25	1,70	0,25-8
Ніобій (V) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	2,15	0,28
Кремній (IV) оксид для вакуумного випаровування	гранули 1-10 таблетки Ø 12-25	1,45	0,2-9
Тантал (V) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	2,10	0,3-8
Титан двоокис для оптичних цілей	таблетки Ø 12-25	2,30	0,39-10
Ітрій окис для вакуумного випаровування	таблетки Ø 12-25	1,70	0,25-9
Цирконій (IV) оксид для оптичних покриттів	таблетки Ø 12-25	2,0	0,35-7

Завдання полягає у створенні покриття на скляній підкладці з показником заломлення $n=1,45$, що підвищить коефіцієнт відбиття на довжинах хвиль 600-1100 нм.

2.2.6. Методика вимірювання інтенсивності лазерного зондування як критерію захищеності

Для вимірювання інтенсивності відбитого і такого, що пройшов через зразок лазерного променя було зібрано установку за оптичною схемою (рис.2.8.) [62].

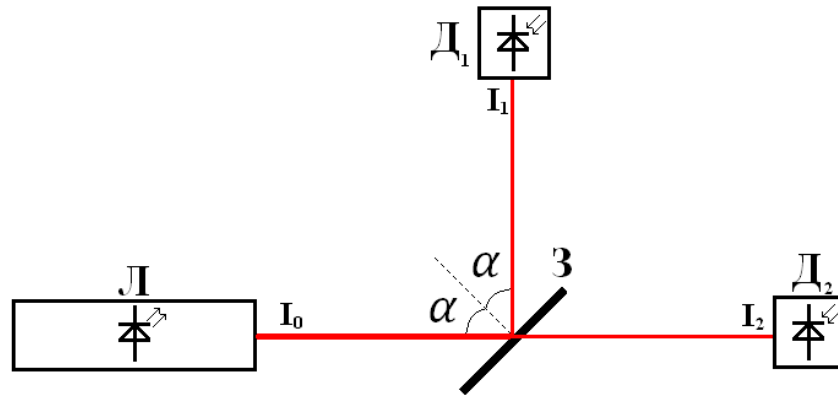


Рис. 2.8. Оптична схема установки:

Л – лазер; З – зразок; Д₁, Д₂– детектор (прилад для вимірювання потужності лазерного випромінювання)

Для вимірювання потужності лазерного променя використовували лазерний вимірювач потужності Pocket Laser Power Meter 840011, технічні характеристики якого наведені в табл. 2. 4. [26].

В таблиці. 2.4. приведені технічні характеристики лазерного вимірювача потужності Pocket Laser Power Meter 840011, що використовувався для вимірювання потужності лазерного променя [26].

Таблиця 2.4.

Технічні характеристики Pocket Laser Power Meter 840011 [21]

Світлочутливий елемент	Si фотодіод (діаметр поверхні датчика 0,9 мм)
Діапазон вимірюваних довжин хвиль	400 нм - 1100 нм
Безпосередньо для визначення довжини хвилі	633 нм (гелій-неонового лазера)
	Інші довжини хвиль повинні бути перетворені за допомогою типового коефіцієнта корекції
Дисплей	Цифровий дисплей: 3999 одиниць повної шкали
	Гістограмний дисплей: 42-сегментний дисплей
Індикатор низького заряду батареї	"BT" з'являється на дисплеї, коли вбудовані акумулятори майже розряджені
Діапазони виміру	40 мкВт діапазон: 0.01 мкВт до 39.99 мкВт
	400 мкВт діапазон: 0.1 мкВт до 399.9 мкВт
	4 мВт діапазон: 0.001 мВт до 3.999 мВт
	40 мВт діапазон: 0.01 мВт до 39.99 мВт
Точність вимірювання	± 5% (в 4 мВт діапазоні, при замірюванні довжиною хвилі 633 нм і 1 мВт)
	Температура: 73 °F ± 4 °F (23 °C ± 2 °C)

Потужність на приладі виставлялась згідно таблиці 2.4. і залежності (рис. 2.9.).

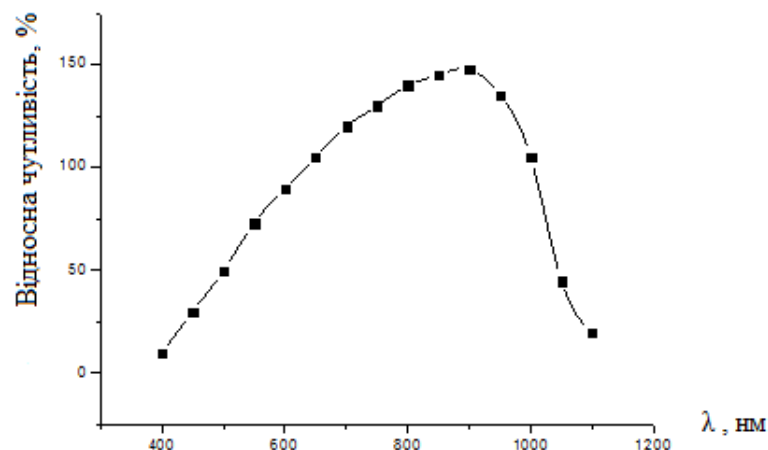


Рис. 2.9. Характеристика спектральної чутливості приладу Pocket Laser Power Meter 840011

Схема напівпровідникового лазера неперервної дії (660 нм, 150 мВт) представлена на рис. 2.10. [77]. Видима зона була вибрана для візуалізації лазерного променя.

Лазер, досліджуваний зразок і детектор D_2 знаходились на одній оптичній осі. Детектор D_1 розміщували перпендикулярно до оптичної осі. Положення детектора D_1 використовується для вимірювання потужності лазерного випромінювання, відбитого від поверхні зразка, а положення D_2 використовується для вимірювання потужності променя, що пройшов через зразок. Вимірювання проводилось в затемненому приміщенні.

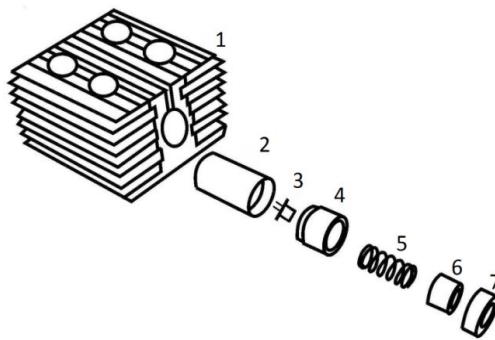


Рис. 2.10. Напівпровідниковий лазер неперервної дії [24]:

1 – радіатор для відведення тепла, що виділяється при роботі лазерного діода; 2 – корпус лазерного модуля для рівномірного розподілу тепла; 3 – лазерний діод ML101U29 (табл. 2.3); 4 – гільза, в яку запресовано лазерний діод; 5 – пружина; 6 – коліматор; 7 – набір короткофокусних скляних лінз з покриттям для просвітлення, розрахованих на довжину хвилі 660 нм і коліматорним кільцем для зміни розбіжності лазерного променя.

Лазерний діод ML101U29 характеризується високою потужністю та високою ефективністю і є напівпровідниковим лазером на основі напівпровідника *AlGaInP*. Діод постійно генерує поперечну моду з довжиною хвилі випромінювання 660 нм. Крім того, цей лазерний діод може працювати в імпульсному режимі і досягати вихідної потужності 400 мВт. Технічні характеристики лазерного діода ML101U29 наведені в таблиці 2.5. [2].

Таблиця 2.5.

Технічні характеристики лазерного діода ML101U29

Символ	Параметр	Умови	Значення	Одиниці
P_0	Оптична потужність випромінювання	Неперервний режим	150	мВт
		Імпульсний режим	400	
$V_{зв}$	Зворотна напруга	-	2	В
T_p	Робоча температура	-	-10 ... +75	$^{\circ}\text{C}$
$T_{зб}$	Температура зберігання	-	-40 ... +100	$^{\circ}\text{C}$
$I_{тем}$	Темновий струм	Неперервний режим	76	мА
I_p	Робочий струм	CW, $P_0=34$ мВ	121	мА
V_p	Робоча напруга	CW, $P_0=34$ мВ	2,291	В
H	Диференціальна ефективність	CW, $P_0=2 - 30$ мВ	0,7954	мВт/мА
λ_n	Пік довжини хвилі	CW, $P_0=18,32$ мВ, $T = 17^{\circ}\text{C}$	657,94	нм
θ_{\parallel}	Кут розбіжності пучка (паралельний) (без коліматора)	CW, $P_0=40$ мВ	10,5	град.
θ_{\perp}	Кут розбіжності пучка (перпендикулярний) (без коліматора)	CW, $P_0=40$ мВ	16	град.

Досліджувались параметри напівпровідникового лазера неперервної дії.

Вимірювання ВАХ (рис. 2.11.) лазерного діода проводилось за схемою (рис. 2.12.):

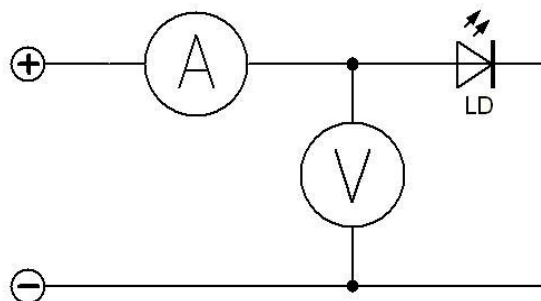


Рис. 2.11. Схема вимірювання ВАХ лазерного діоди

Як прилад використовувався мультиметр:

- в режимі вимірювання струму Mastech MS8226 (діапазон вимірювання 400 мА, з кроком вимірювання 100 мкА, точністю +/- 1,2%);

- в режимі вимірювання напруги Mastech MS8226 (діапазон вимірювання 4В, з кроком вимірювання 1мВ, точністю +/- 0,5%).

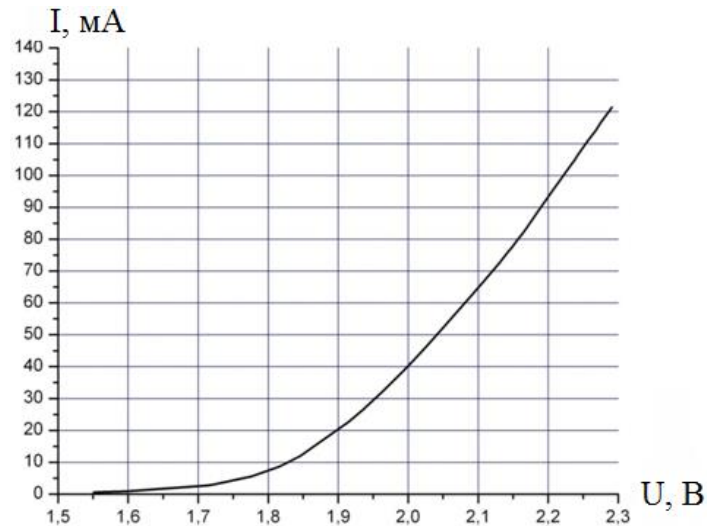


Рис. 2.12. Вольт-амперна характеристика лазерного діоду

На рис. 2.13. видно, що значення мінімальної напруги відкриття р-п переходу лазерного діоду становить 1.55 В.

Залежність потужності лазерного випромінювання від струму на лазерному діоді (рис. 2.13) досліджували за допомогою приладу Pocket Laser Power Meter 840011 (діапазон вимірювання 40 мВт, з кроком вимірювання 0,01 мВт, точністю +/- 5%) [26, 79].

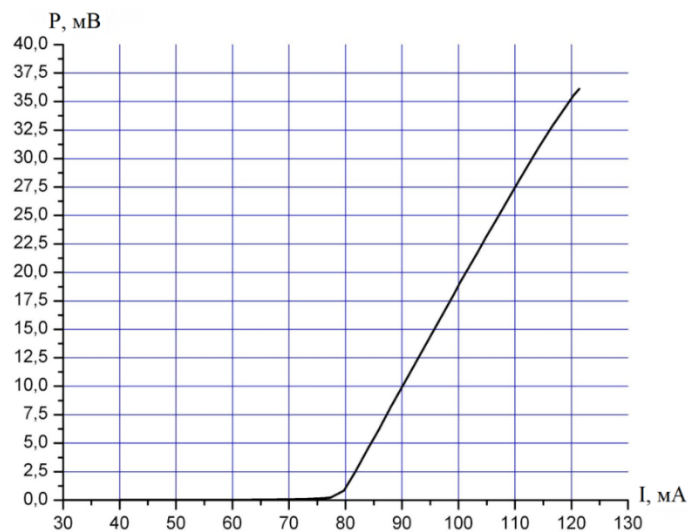


Рис. 2.13. Залежність потужності лазерного випромінювання від струму на лазерному діоді

З рис. 2.14. визначали збільшення оптичної потужності лазерного випромінювання η в залежності від збільшення струму на лазерному діоді: $\eta = 0,7954 \pm 0,0026$ мВт/мА.

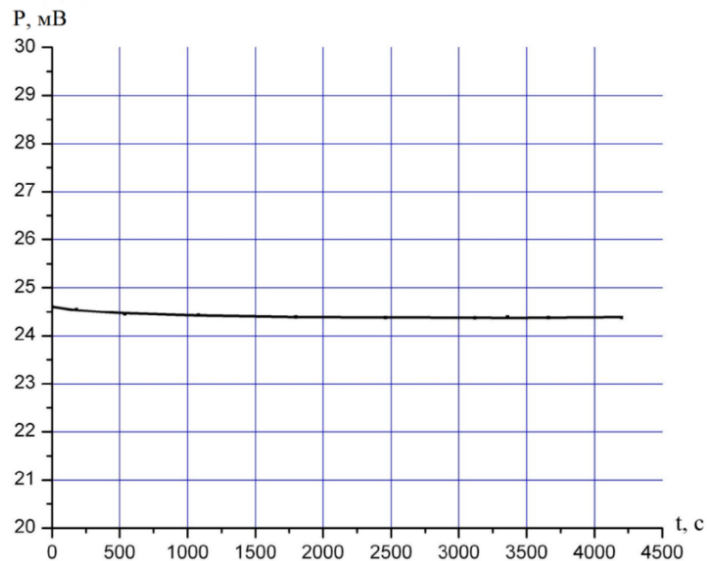


Рис. 2.14. Залежність потужності лазерного випромінювання з часом

З графічної залежності рис.2.14 встановлено, що через 15 хв при безперервній роботі лазера встановлюється постійна потужність лазерного випромінювання, яка суттєво не змінюється з часом.

На рис. 2.15. приведено дані по вимірюванню довжини хвилі лазерного випромінювання за допомогою спектрометра ДФС-52М [2].

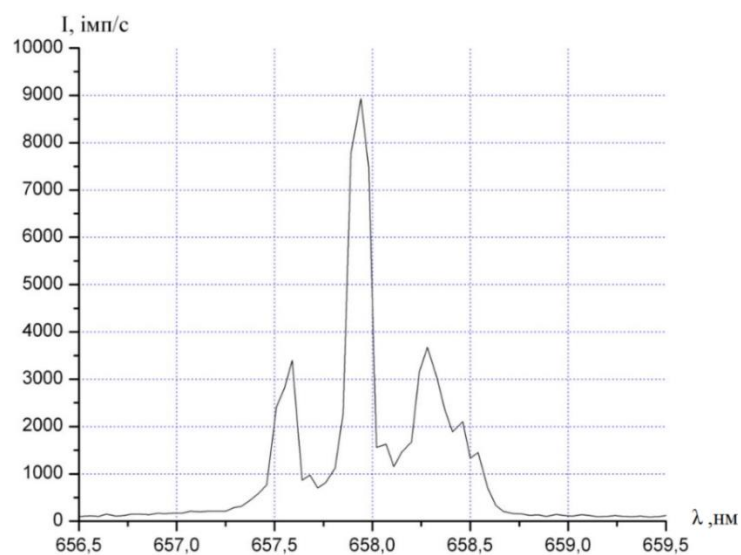


Рис. 2.15. Залежність інтенсивності лазерного випромінювання від довжини хвилі

На рис. 2.15 показано, що лазерне випромінювання має три моди. Довжина хвилі основної моди становить 657,94 нм.

В результаті був зібраний твердотільний лазер з довжиною хвилі 658 нм з такими параметрами:

- значення мінімальної напруги відкриття р-п переходу лазерного діода складає 1,55 В;
- збільшення оптичної потужності лазерного випромінювання за рахунок збільшення струму на лазерному діоді склало $\eta = 0,7954 \pm 0,0026$ мВт/мА;
- постійна потужність лазерного випромінювання досягається через 15 хвилин безперервної роботи лазера;
- лазерне випромінювання має три режими. Довжина хвилі основної моди становить 657,94 нм при температурі $t = 17$ 0С і потужності лазерного випромінювання $P = 18,32$ мВт [2].

В якості параметрів захищеності були вибрані коефіцієнти пропускання, відбивання та поглинання лазерного променя [56, 100,].

З допомогою вище описаної установки були виміряні:

- потужність пройденого через зразок променя P_{np} ;
- потужність відбитого променя від досліджуваного зразка $P_{відб}$;
- поглинуту потужність лазерного випромінювання зразком $P_{погл}$.

Коефіцієнт пропускання знаходили за виразом (2.1.):

$$K_{np} = \frac{P_{np}}{P_{ex}} \quad (2.1.)$$

де P_{ex} – потужність твердотільного лазера.

Коефіцієнт відбивання знаходили за формулою (2.2.):

$$K_{відб} = \frac{P_{відб}}{P_{ex}} \quad (2.2.)$$

Коефіцієнт поглинання знаходили за формулою (2.3.):

$$K_{погл} = \frac{P_{погл}}{P_{ex}} \quad (2.3.)$$

2.2.7. Методика роботи з лазерними тріангуляційними давачами вібрації

Як зазначалося вище, головною перевагою ЛСАР над іншими засобами розвідки є те, що вони дозволяють вирішувати задачі знімання мовної інформації максимально безпечно для зловмисника, оскільки виключається необхідність проникнення у приміщення з метою розміщення там закладних пристроїв і т.і. ЛСАР у спрощеному вигляді складається з лазерного випромінювача в інфрачервоному діапазоні та оптичного приймача. Принцип роботи цих пристроїв здійснюється таким чином. Лазерний випромінювач, за допомогою оптичного прицілу, направляється на плоску віброуючу поверхню (найкращим прикладом такої поверхні є шибка закритого вікна приміщення, в якому ведуться розмови), далі генерується лазерний промінь (високочастотний сигнал), що поширюється через атмосферу і падає на цю поверхню. Після він відбивається від віконного скла і при цьому модулюється за законом акустичного сигналу, який також впливає на скло, повторно долає атмосферу у зворотному напрямку і приймається фотоприймачем, що відновлює інформаційний сигнал (рис. 2.16.). [15].

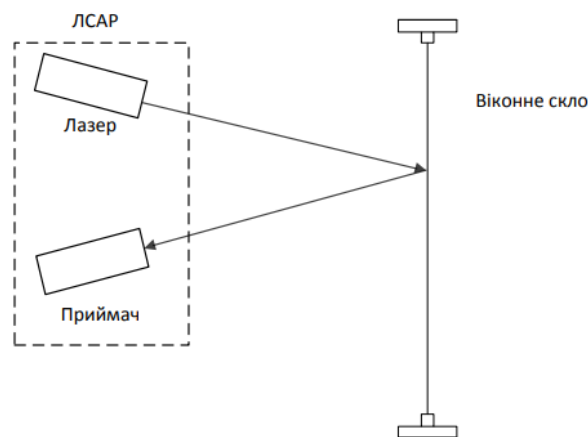


Рис. 2.16. Принцип зняття інформації з поверхні вікна приміщення

При відбитті лазерного променя від віброуючої поверхні відбувається його частотна, кутова і фазова модуляція.

Отже, принцип дії таких систем заснований на уловлюванні коливань через скло та інші відбиваючі поверхні, де згодом коливання трансформується в звук. Вони дозволяють перехоплювати на порівняно великих відстанях акустичну інформацію з віконного скла та інших відбиваючих світло предметів службових приміщень .

В основу роботи датчика покладений принцип оптичної триангуляції (рис. 2.17.) [89].

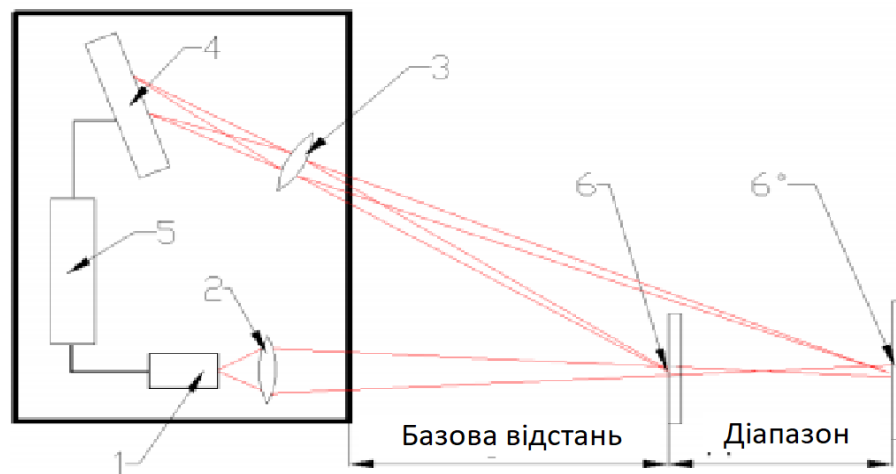


Рис. 2.17. Принцип оптичної триангуляції

Випромінювання напівпровідникового лазера 1 фокусується об'єктивом 2 на об'єкті 6. Розсіяне на об'єкті випромінювання об'єктивом 3 збирається на CMOS лінійці 4. Переміщення об'єкта 6 - 6' викликає відповідне переміщення зображення. Процесор сигналів 5 розраховує відстань до об'єкта по положенню зображення світлової плями на лінійці 4.

Триангуляційні лазерні датчики призначені для безконтактного вимірювання і контролю положення, переміщення, розмірів, профілю поверхні, деформацій, вібрацій, сортування, розпізнавання технологічних об'єктів, вимірювання рівня рідин і сипучих матеріалів. Серія включає 26 моделей датчиків з вимірювальним діапазоном від 2 до 1250 мм і базовим відстанню від 15 до 260 мм. Всі датчики доступні в двох версіях - на базі червоного лазера (660 нм) і на базі синього лазера (405 або 450 нм, версія BLUE). Використання синіх лазерів замість традиційних

червоних істотно розширює можливості датчиків, зокрема, при контролі високотемпературних об'єктів, а також органічних матеріалів [15].

Датчик встановлюється таким чином, щоб контрольований об'єкт розташовувався в зоні робочого діапазону датчика. Крім того, в області проходження падаючого на об'єкт і відбитого від нього випромінювання не повинно перебувати сторонніх предметів. При контролі об'єктів складної форми і текстури необхідно мінімізувати потрапляння дзеркальної складової відбитого випромінювання у вхідний вікно датчика. Розміри лазерної плями для двох варіантів виконання (еліптична пляма і кругла пляма), а також параметри, що характеризують необхідний простір для проходження променів, представлені в таблиці 2.6.) [15].

Характер роботи датчика визначають його конфігураційні параметри, зміна яких проводиться тільки шляхом передачі команд через послідовний порт RS232 або RS485 [89].

Таблиця 2.6.

Необхідний простір для установки датчиків

РФ603-	D, мкм			D1, мкм			D2, мкм			α, град	β, град	A, мм	B, мм
	SMR	MMR	EMR	SMR	MMR	EMR	SMR	MMR	EMR				
10/2	30	20	30	40	30	40	60	40	60				
39/4	110	140	110	90	110	80	190	470	80	38	42	27	37
15/5	100	40	100	200	60	200	300	80	300	45	53	15	25
15/10	250	50	250	350	80	350	700	90	700	49	50	17	30
25/10	200	50	200	300	80	300	650	90	650	38	40	19	29
60/10	200	60	200	250	80	250	700	90	700	27	30	30	39
15/15	400	60	400	450	100	450	1000	110	1000	50	46	18	32
30/15	300	70	300	350	80	350	900	120	900	35	35	20	32
65/15	220	80	220	250	90	250	850	130	850	25	25	39	39
25/25	400	60	400	500	70	500	1400	100	1400	42	35	23	36
45/25	400	70	400	450	80	450	1100	120	1100	31	28	27	39
80/25	250	80	250	350	90	350	800	130	800	21	21	31	40
35/30	500	70	500	550	80	550	1200	120	1200	38	31	26	37
55/30	350	60	350	450	90	450	800	130	1300	29	26	29	40
95/30	300	90	300	350	120	350	900	150	900	18	18	31	40
45/50	600	80	600	700	100	700	1600	130	2000	32	29	27	39
65/50	500	80	500	600	90	600	1100	140	1700	24	18	28	39
105/50	400	90	400	450	100	450	800	140	1300	17	14	31	39
60/100	700	70	700	900	80	900	2000	130	2500	28	15	31	43
90/100	700	100	700	900	120	900	1300	140	2300	17	9	28	39
140/100	600	120	600	650	140	650	1100	150	1700	12	10	31	43
80/250	1300	130	1300	1700	150	2400	2500	180	4000	21	7	32	43

де, SMR - початок робочого діапазону, MMR – середина робочого діапазону, EMR - кінець робочого діапазону, MR - робочий діапазон.

Граничний час накопичення: інтенсивність відбитого випромінювання, що надходить в датчик, залежить від властивостей поверхні контрольованого об'єкта, тому потужність випромінювання лазера і час накопичення випромінювання, що падає на CMOS-лінійку, автоматично регулюються з метою отримання оптимального сигналу і досягнення максимальної точності вимірювання. Параметр «граничний час накопичення» задає величину гранично допустимого часу накопичення лінійки. Якщо інтенсивність прийнятого датчиком випромінювання настільки мала, що за час накопичення, рівний граничному часу, не одержали результат, датчик передає нульове значення.

Від величини часу накопичення приймальної лінійки залежить частота оновлення результату. Максимальна частота (9,4 кГц) досягається для часу накопичення 106 мкс (мінімально можливий час накопичення - 3 мкс). При збільшенні часу накопичення понад 106 мкс частота оновлення результату пропорційно зменшується. Збільшення даного параметра розширює можливості контролю слабовідбиваючих (дифузна складова) поверхонь, проте зменшує частоту оновлення результату вимірювання і збільшує вплив зовнішнього засвічення (фону) на точність вимірювання. Граничний час накопичення - 3200 мкс. Зменшення даного параметра дозволяє підвищити результуючу частоту оновлення результату, але може привести до зниження точності вимірювання [15].

Далі проводимо налаштування з'єднання з датчиком. Після запуску програми з'являється робоче вікно (рис. 2.18.) [15].

Для установки з'єднання по RS232 / RS485 інтерфейсів необхідно у вкладці RS232 / RS485 PC settings панелі Interface configuration parameters:

- Вибрати COM-порт, до якого підключений датчик (віртуальний порт, у випадку підключення датчика через USB-адаптер).
- Вибрати швидкість передачі (Baud rate), на якій працює датчик.
- Вибрати, при необхідності, мережеву адресу датчика.
- Натиснути кнопку Device identification.

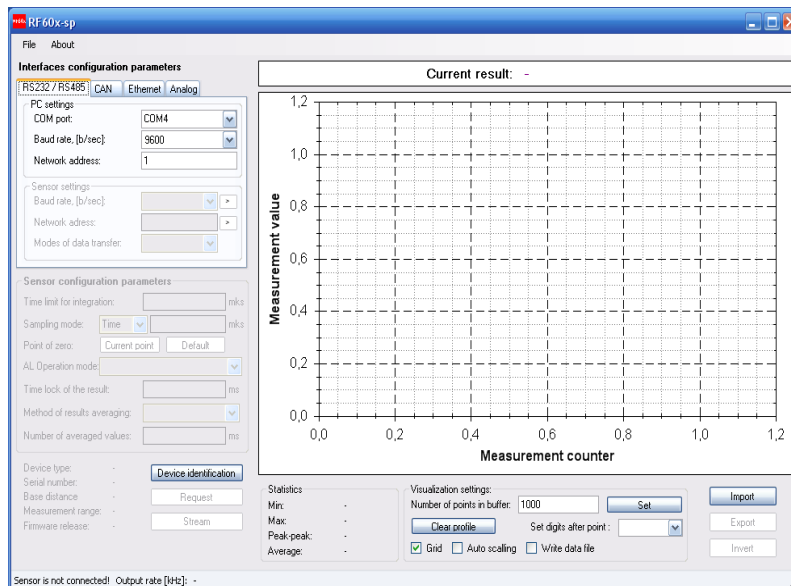


Рис. 2.18. Робоче вікно програми rf60x-sp

Якщо встановлені параметри відповідають параметрам інтерфейсу датчика, програма виконає ідентифікацію датчика, зчитає і відобразить його конфігураційні параметри (рис. 2.19.) [15].

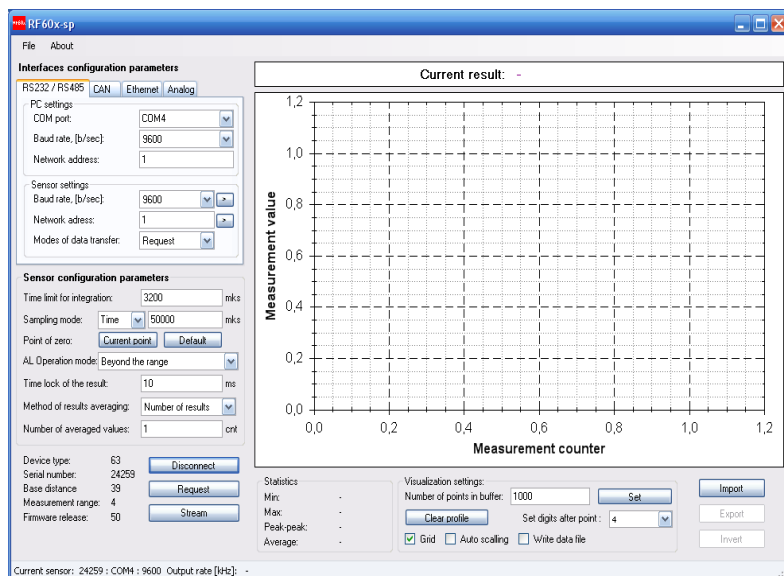


Рис 2.19. Робочий інтерфейс після успішної ідентифікації

Якщо зв'язок не встановлений, видається повідомлення з пропозицією провести автоматичний пошук датчика (рис. 2.20.) [15]:

- У рядку Baud rate встановити діапазон пошуку швидкості передачі;
- У рядку Net address встановити діапазон пошуку мережевої адреси;
- Натиснути кнопку Search.

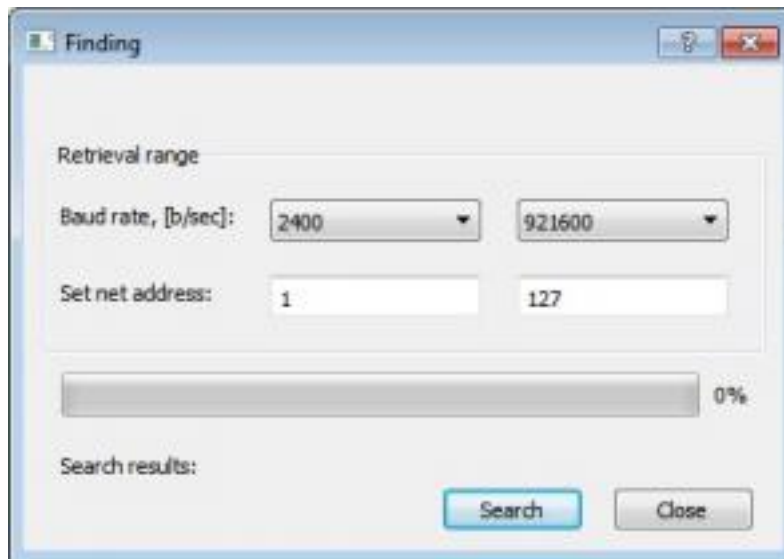


Рис 2.20. Вікно автоматичного пошуку датчика

Програма виконає автоматичний пошук датчика шляхом перебору можливих швидкостей, мережевих адрес і СОМ-портів ПК.

Після успішної ідентифікації перевіряємо працездатність датчика:

- Встановлюємо об'єкт в області робочого діапазону датчика;
- Натискання кнопки Request виводить на панель індикації (Current result) результат одиничного вимірювання;
- Натискання кнопки Stream переводить датчик в режим передачі потоку даних (рис. 2.21.) [15].

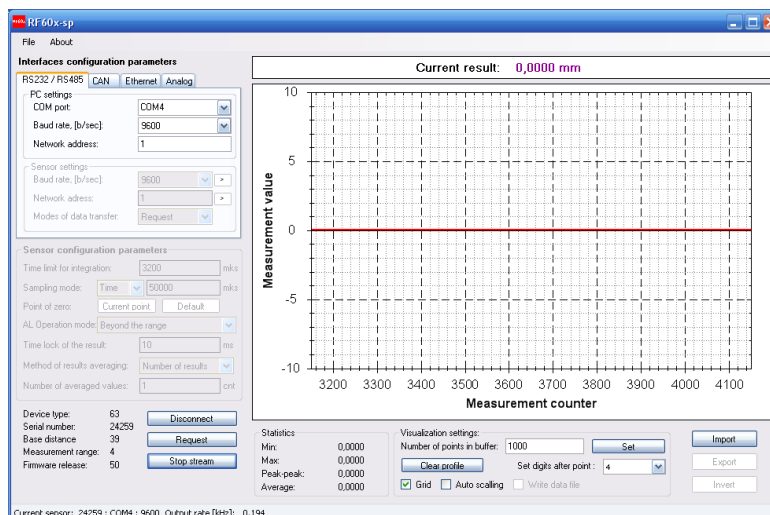


Рис 2.21. Робоче вікно після натискання кнопки Stream

- Переміщаючи об'єкт, спостерігаємо зміну показників (рис. 2.22.);
- У статусному рядку в нижній частині вікна відображаються поточні швидкість передачі і швидкість відновлення даних.

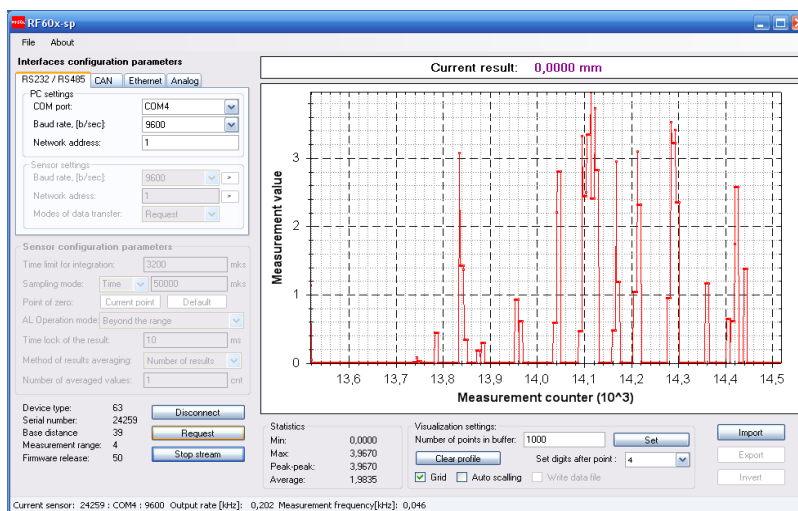


Рис 2.22. Динаміка зміни показників в залежності від переміщення об'єкта
Натискання кнопки Stop stream зупиняє передачу даних.

Висновки до розділу 2

У другому розділі дисертаційної роботи наведено характеристику об'єктів дослідження та методів визначення захищеності мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки.

Розглянуто фізико-хімічні властивості скла, узагальнено класифікацію захисних плівок за технологією виготовлення і прозорістю та розкрито їх основні функції. Показано, що використання захисних плівок у сфері захисту інформації, як технологія, може отримати новий етап розвитку для захисту приміщень від витoku інформації через вікна опто-електронним каналом.

В зазначеному розділі на основі методів рентгенофлуоресцентного і спектрального аналізу та симплекс-решітчатого планування запропоновано методики дослідження, які уможливають проведення експериментальних досліджень щодо захищеності віконного скла від лазерного зондування.

Представлено методику напилення захисних оптичних шарів. Запропоновано спосіб одержання вдосконаленої структури аморфної електропровідної захисної плівки типу ВаCuTeF з подальшим отриманням кристалічної структури за допомогою проведення відпалу в атмосфері аргону, що за різних температур може значно покращити властивості пропускання видимого світла, збільшити потужність

відбитого лазерного променя та більшою мірою поглинати потужність лазерного випромінювання у порівнянні з простими металізованими плівками.

Проаналізовано методики дослідження властивостей захисних оптичних шарів, вимірювання інтенсивності лазерного зондування як критерію захищеності, роботи з лазерними триангуляційними давачами вібрації та методику дослідження розсіювання лазерного променя на дифракційній ґратці з шару гафнію. Обґрунтовано можливі переваги використання діелектричних плівок діоксиду гафнію, а саме, коефіцієнт відбивання скла з напиленою плівкою значно вищий в порівнянні із чистим склом, що в разі підвищує захисні властивості скла від витоку акустичної інформації.

Запропонована комплексна методика дослідження параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку інформації, дасть змогу дослідити пошарову взаємозалежність та вплив захисних оптичних шарів і внутрішньої будови скла на його захисні властивості від ЛСАР.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАТИВНОГО ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЛА ВІД ЛСАР

3.1. Вплив елементного складу листового скла на коефіцієнти відбивання та поглинання зондуючого випромінювання

Для дослідження захисних властивостей скла від лазерного зондування, в залежності від його елементного складу, використовували найбільш розповсюджене в Україні скло, описане в п. 2.1.1.1. нашого дослідження.

В якості параметрів захищеності були вибрані коефіцієнти відбивання ($K_{\text{від}}$) та поглинання ($K_{\text{погл.}}$) лазерного променя.

Дані, отримані аналізатором EXPERT 3L представлені у вигляді діаграм на рисунках 3.1. – 3.10.

Для зручності оформлення таблиць та залежностей ми надали усім типам скла наступну аббревіатуру:

- 1) Saint-Gobain, товщиною 6мм – S6
- 2) Saint-Gobain, товщиною 4мм – S4
- 3) Saint-Gobain, товщиною 3мм – S3
- 4) Orion Glass, товщиною 4мм – O4
- 5) Orion Glass, товщиною 6мм – O6
- 6) Lysychansk, товщиною 6мм – L6
- 7) Lysychansk, товщиною 4мм – L4
- 8) Guardian, товщиною 6мм – G6
- 9) Euroglas, товщиною 4мм – Eu-4
- 10) Pilkington, товщиною 4мм – P-4

На рис. 3.1. – 3.10. представлені діаграми якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла, які зведені у таблицю (табл. 3.1) [62].

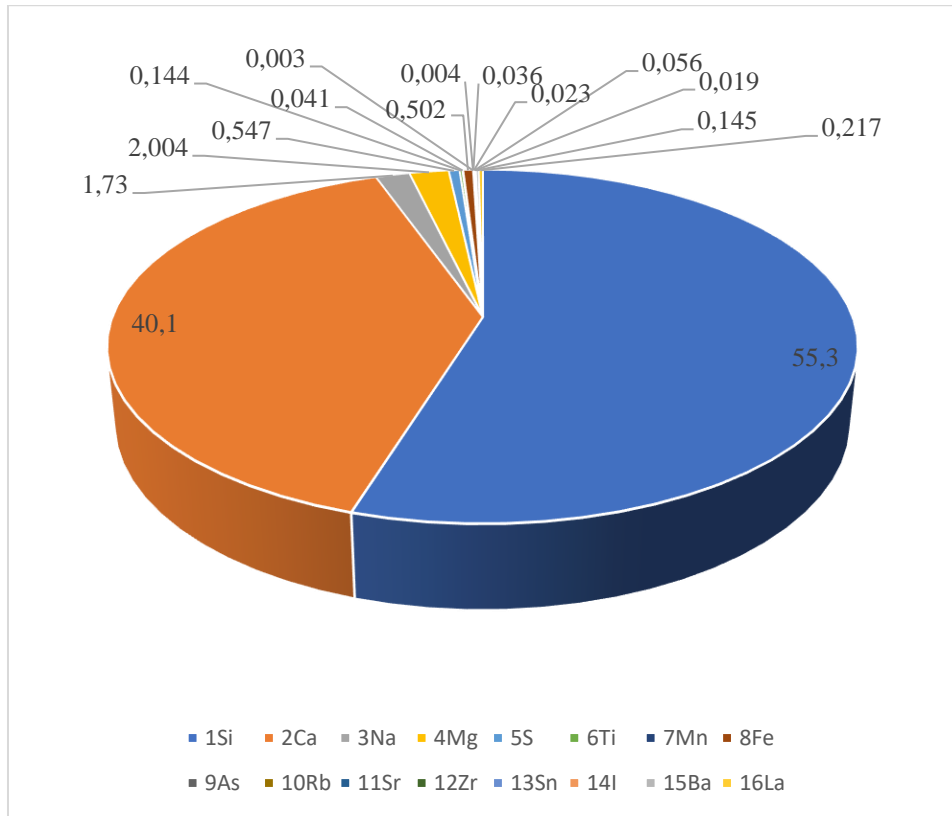


Рис. 3.1. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Lysychansk – 4

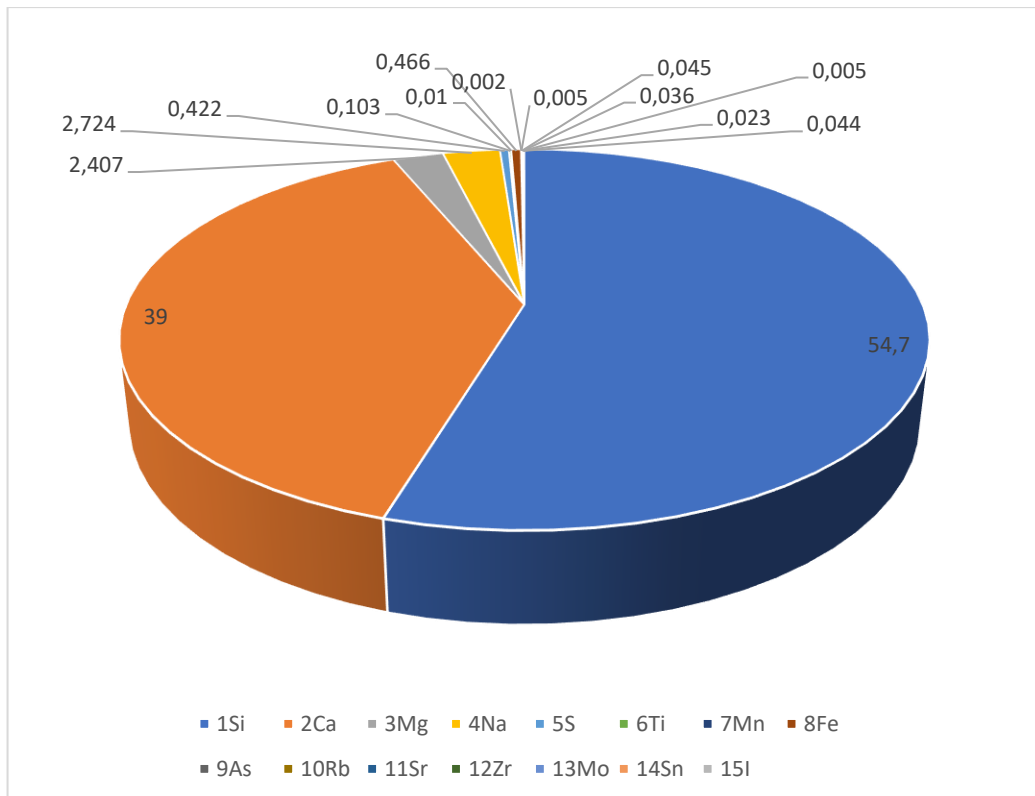


Рис. 3.2. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Lysychansk – 6

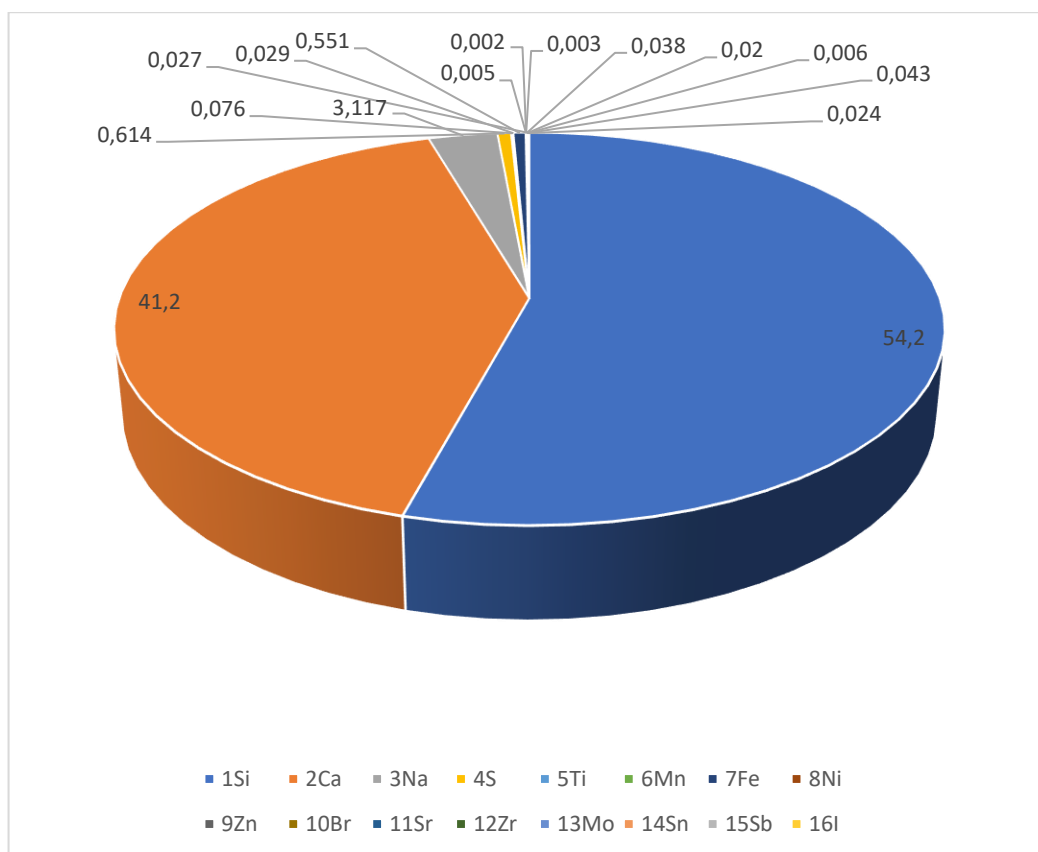


Рис. 3.3. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Saint-Gobain-3

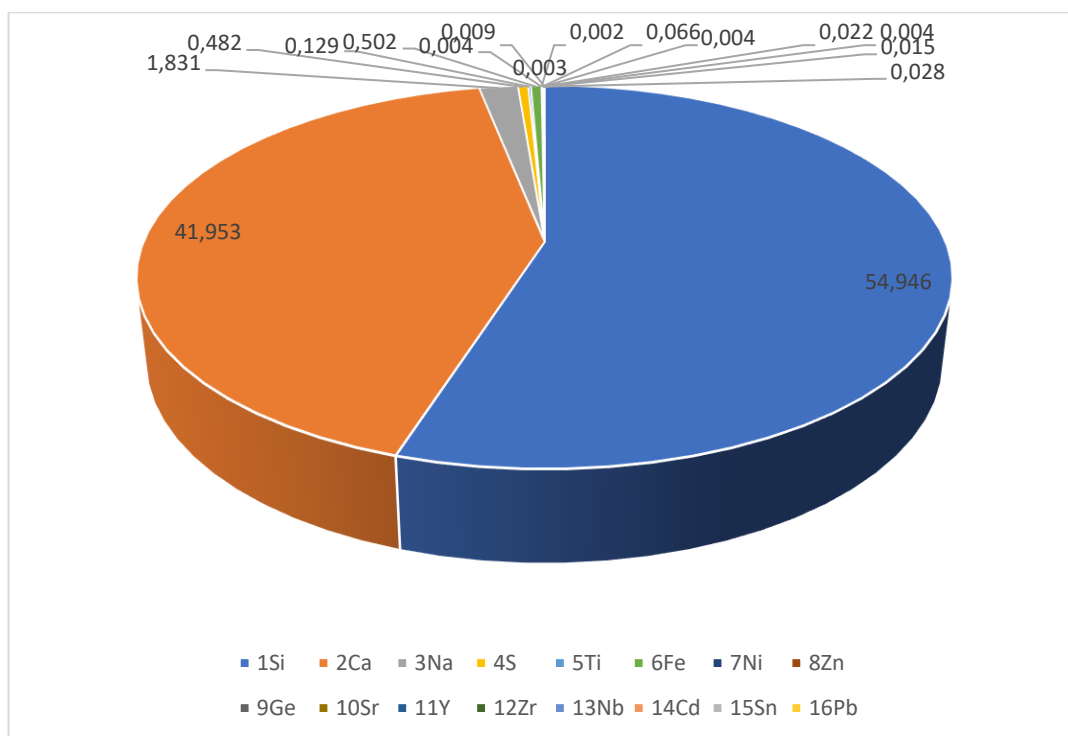


Рис. 3.4. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Saint-Gobain-4

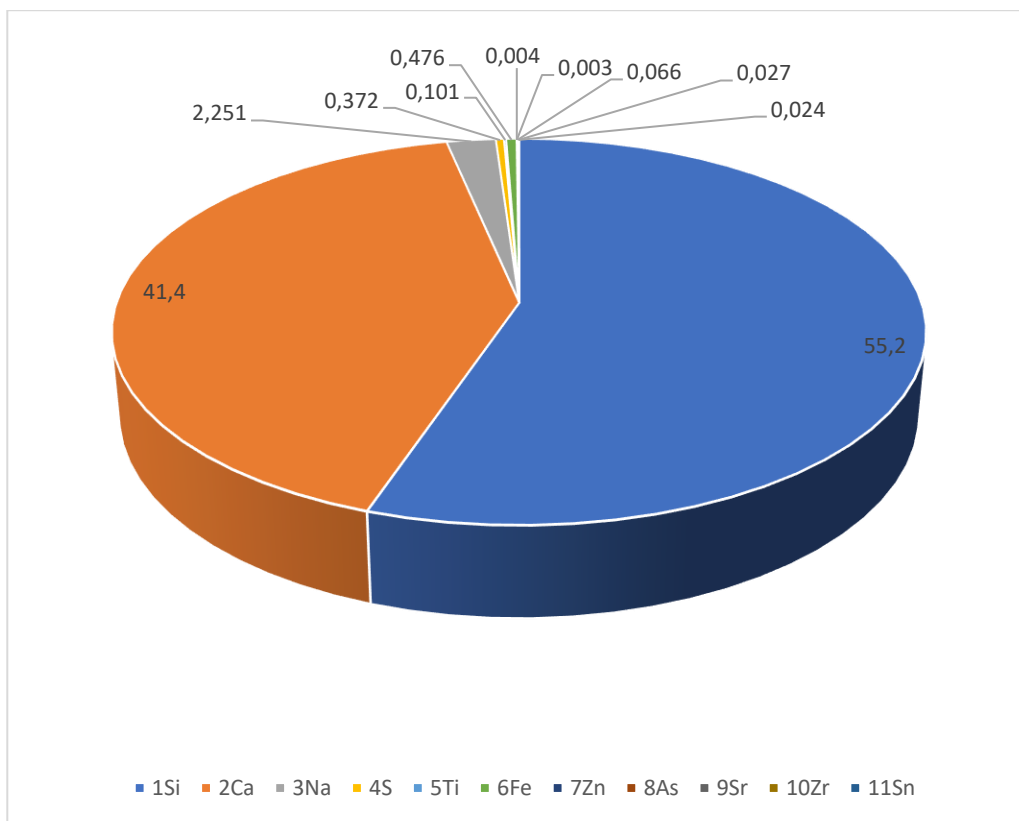


Рис. 3.5. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла: Saint-Gobain-6

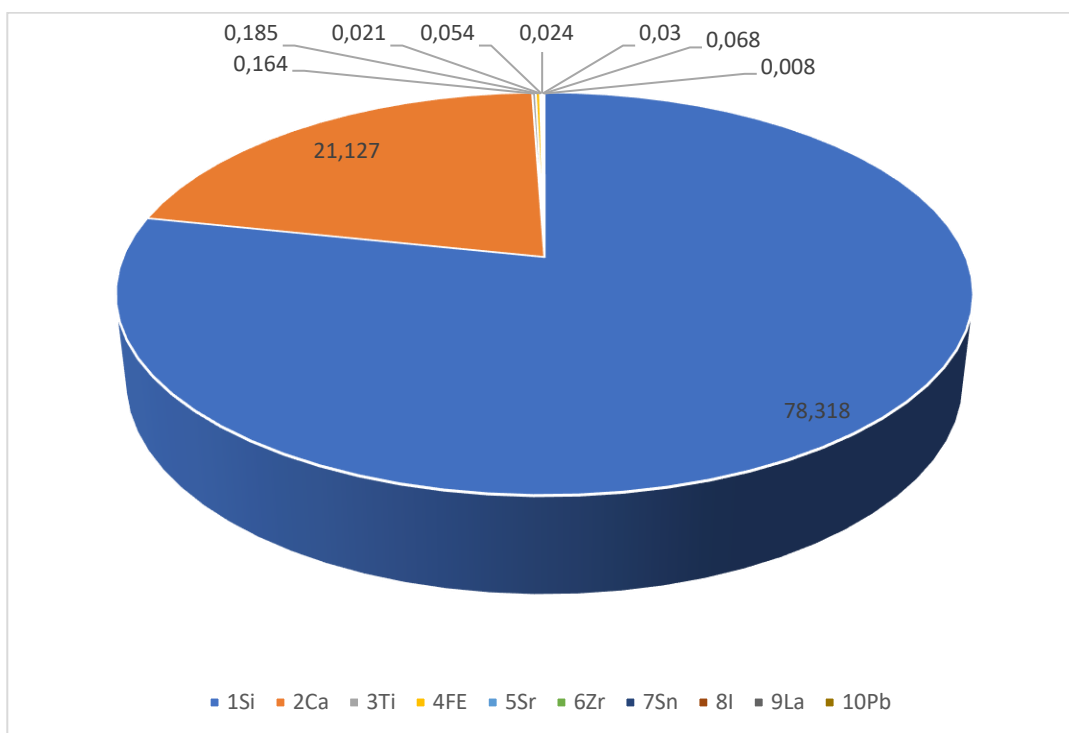


Рис. 3.6. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Orion Glass-4

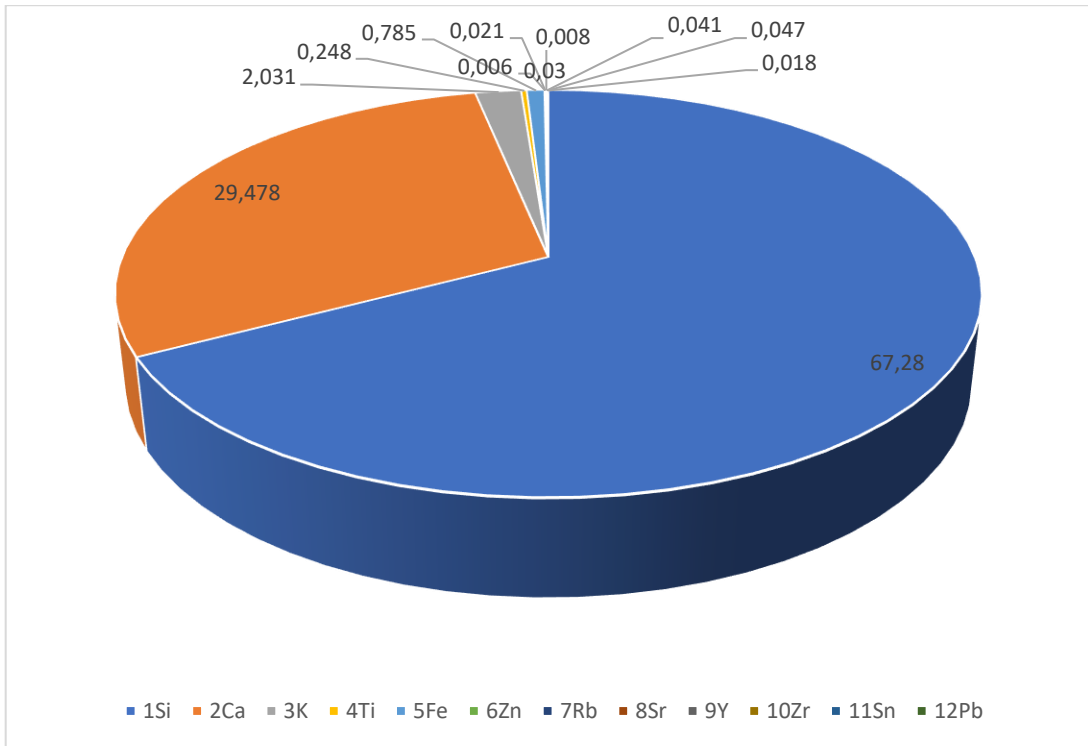


Рис. 3.7. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Orion Glass-6

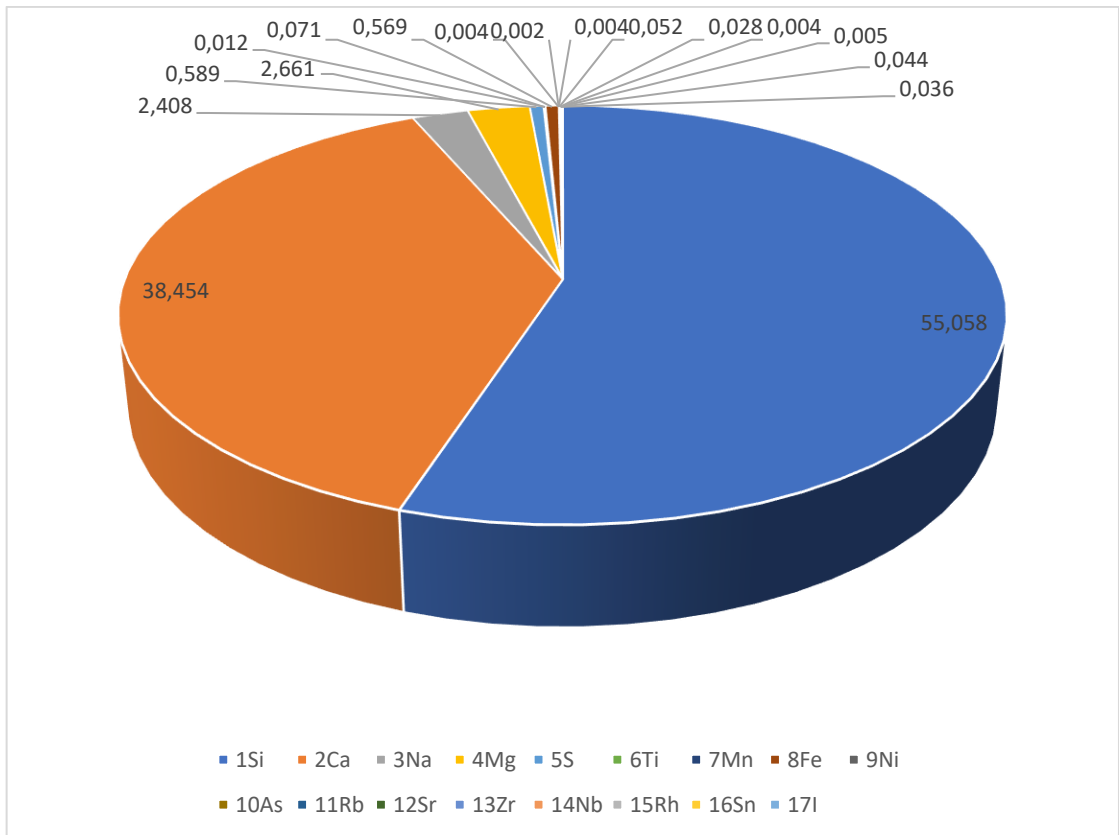


Рис. 3.8. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Euro Glass-4

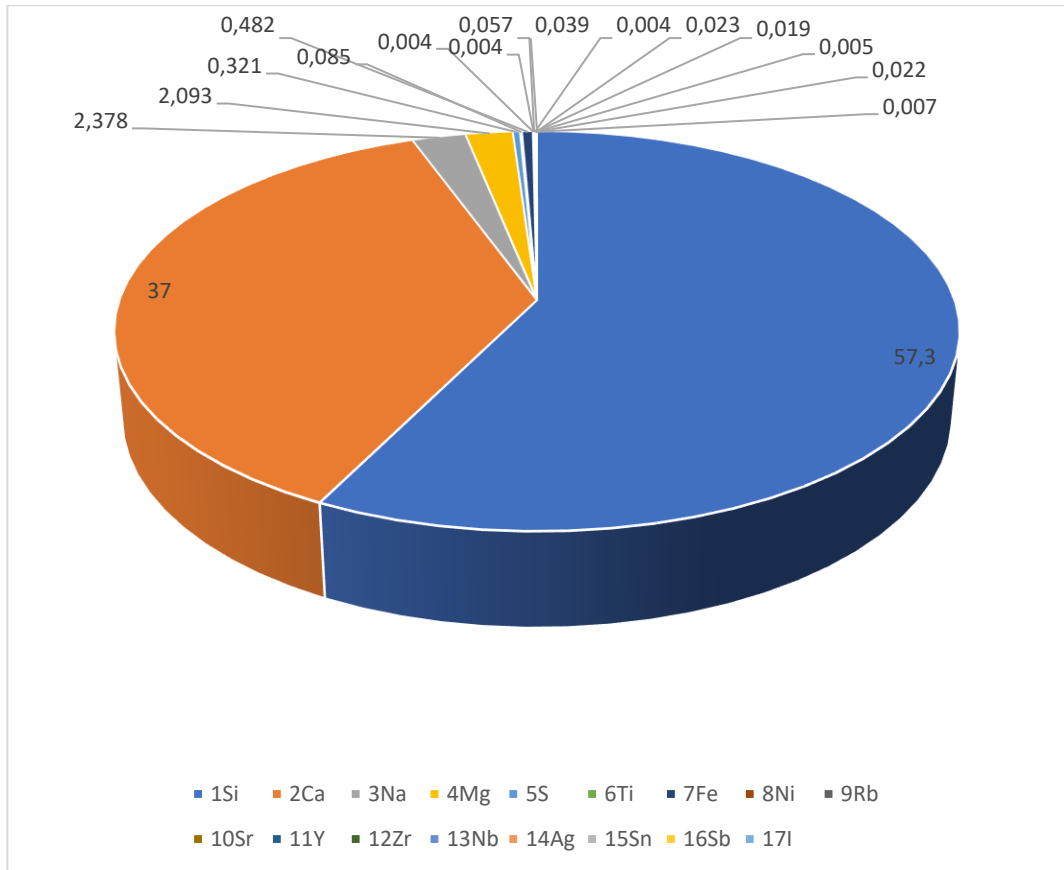


Рис. 3.9. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла а – Guardian-6

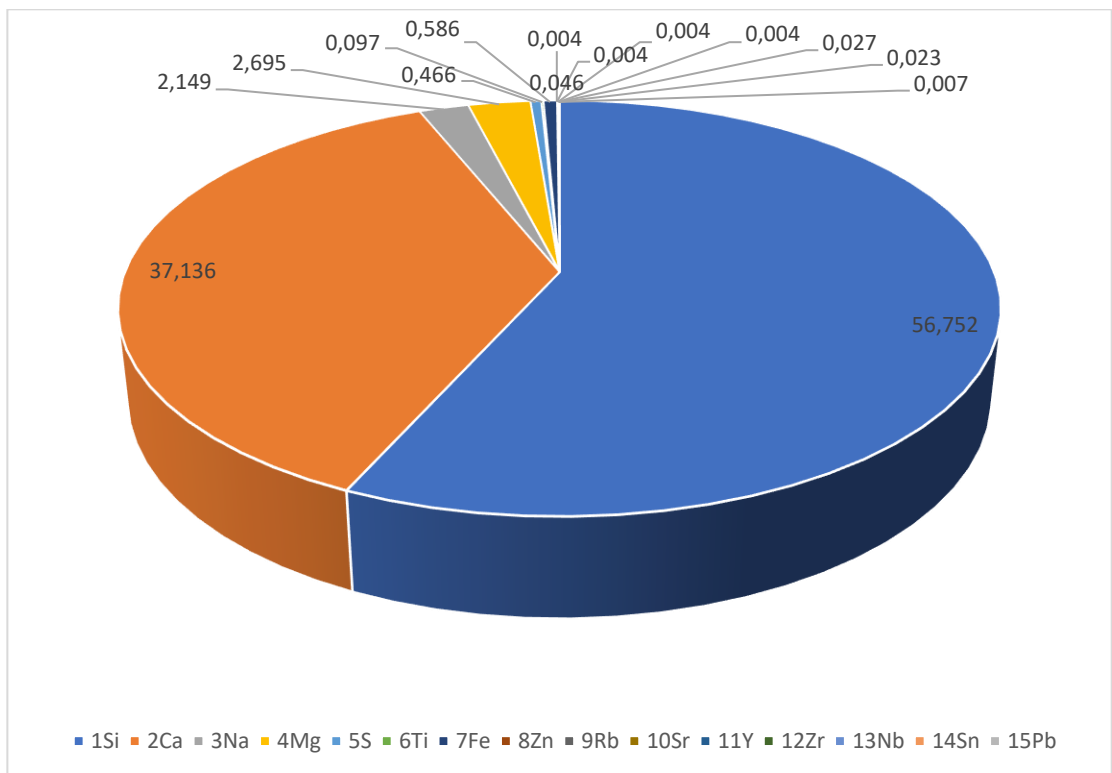


Рис. 3.10. Діаграма якісних і кількісних характеристик досліджуваного віконного скла Pilkington-4

Розраховані параметри захищеності (формули 2.2., 2.3.) зняті пристроєм лазерного сканування та представлені на рис. 3.11. - 3.12.

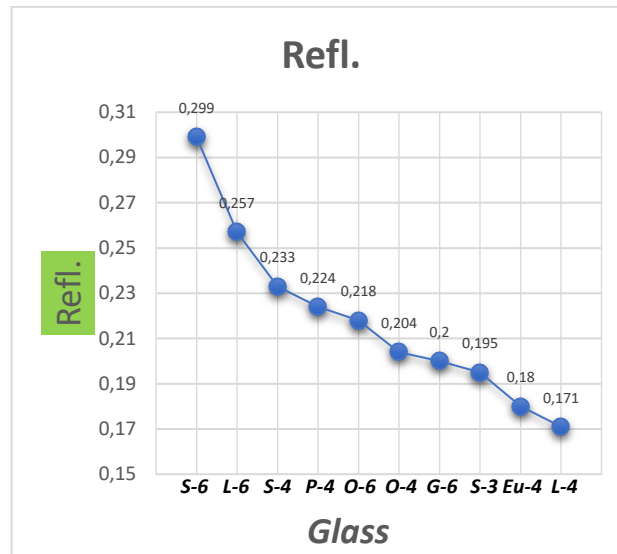


Рис.3.11 Коефіцієнти відбивання досліджуваного віконного скла ($K_{\text{відб.}} \cdot 10^{-1}$)

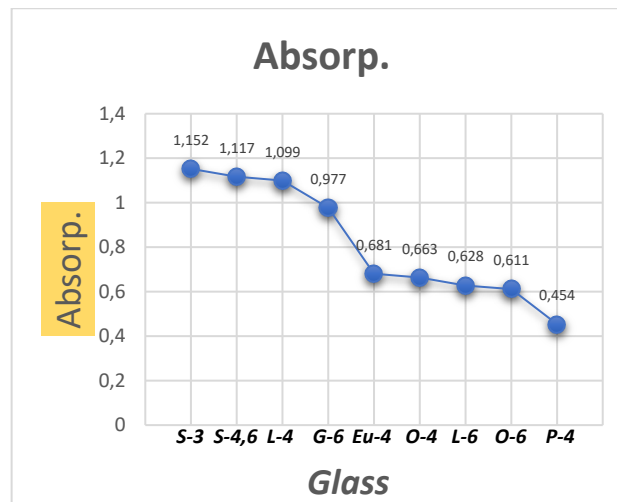


Рис.3.12. Коефіцієнти поглинання досліджуваного віконного скла ($K_{\text{погл.}} \cdot 10^{-1}$)

З рисунків 3.11. і 3.12. видно, що відповідно до виду скла коефіцієнти поглинання та відбивання змінюються. Отже, виходячи з елементного та кількісного складу наявного досліджуваного віконного скла (табл. 3.1.) та параметрів захищеності (рис. 3.11. – 3.12.) ми представили в таблицях 3.2. - 3.5. зведені захисні характеристики (відбивання-поглинання) відповідно до якісних та кількісних характеристик згідно періодичної таблиці [62].

Таблиця 3.1.

Елементний (Si, Ca, Fe, Na, S, Ti, Sr, Zr, Sn) та кількісний склад (%) досліджуваного віконного скла (де відбивання - зелене, а поглинання – жовте, n/d – не виявлено)

Glass/ Elements	Si	Ca	Fe	Na	S	Ti	Sr	Zr	Sn
S-6 0.299	55.2	41.4	0.476	2.251	0.372	0.101	0.066	0.027	0.024
L-6 0.257	54.7	39	0.466	2.724	0.466	0.103	0.045	0.036	0.023
S-4 0.233	54.9	41.2	0.502	1.831	0.482	0.129	0.066	0.022	0.028
P-4 0.224	56.7	37	0.586	2.149	0.466	0.094	0.046	0.027	0.023
O-6 0.218	67.3	29.5	0.785	2.037	n/d	0.248	0.03	0.041	0.047
O-4 0.204	78.3	21	0.185	n/d	n/d	n/d	0.021	0.054	0.024
G-6 0.2	57.3	37	0.482	2.378	0.321	0.085	0.057	0.019	0.022
S-3 0.195	54.2	41.2	0.551	3.117	0.614	0.076	0.038	0.02	0.043
Eu-4 0.18	55	38.4	0.569	2.408	0.589	0.071	0.044	0.028	0.044
L-4 0.171	55.3	40.1	0.502	1.73	0.547	0.144	0.036	0.023	0.056
S-3 1.152	54.2	41.2	0.482	3.117	0.614	0.076	0.038	0.02	0.043
S-4 1.117	54.9	41.2	0.502	1.831	0.482	0.129	0.066	0.022	0.028
S-6 1.117	55.2	41.4	0.476	2.251	0.372	0.101	0.066	0.027	0.024
L-4 1.099	55.3	40.1	0.502	1.73	0.547	0.144	0.036	0.023	0.056
G-6 0.977	57.3	37	0.482	2.378	0.321	0.085	0.057	0.019	0.022
Eu-4 0.681	55	38.4	0.568	2.408	0.589	0.071	0.044	0.028	0.044
O-4 0.663	78.3	21	0.185	n/d	n/d	n/d	0.021	0.054	0.024
L-6 0.628	54.7	39	0.466	2.724	0.466	0.103	0.045	0.036	0.023
O-6 0.611	67.3	29.5	0.785	2.037	n/d	0.248	0.03	0.041	0.047
P-4 0.454	56.7	37	0.586	2.149	0.466	0.094	0.046	0.027	0.023

Продовження таблиці 3.1.

Елементний (Mg, Ni, Rb, Y, Nb, Ag, Sb, I, As) та кількісний склад (%) досліджуваного віконного скла (де відбивання - зелене, а поглинання – жовте, n/d – не виявлено)

Glass/Elements	Mg	Ni	Rb	Y	Nb	Ag	Sb	I	As
S-6 0.299	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.003
L-6 0.257	2.407	n/d	0.005	n/d	n/d	n/d	n/d	0.044	0.002
S-4 0.233	n/d	0.004	n/d	0.004	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d
P-4 0.224	2.695	n/d	0.004	0.004	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d
O-6 0.218	n/d	n/d	0.021	0.008	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
O-4 0.204	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.03	n/d
G-6 0.2	2.093	0.004	0.004	0.004	0.005	0.007	0.023	0.039	n/d
S-3 0.195	n/d	0.005	n/d	n/d	n/d	n/d	0.024	0.027	n/d
Eu-4 0.18	2.661	0.004	0.004	n/d	0.004	n/d	n/d	0.036	0.002
L-4 0.171	2.004	n/d	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d	0.019	0.003
S-3 1.152	n/d	0.005	n/d	n/d	n/d	n/d	0.023	0.027	n/d
S-4 1.117	n/d	0.004	n/d	0.004	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d
S-6 1.117	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.003
L-4 1.099	2.004	n/d	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d	0.019	0.003
G-6 0.977	2.093	0.004	0.004	0.004	0.005	0.007	0.023	0.039	n/d
Eu-4 0.681	2.661	0.004	0.004	n/d	0.004	n/d	n/d	0.036	0.002
O-4 0.663	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.03	n/d
L-6 0.628	2.407	n/d	0.005	n/d	n/d	n/d	n/d	0.044	0.002
O-6 0.611	n/d	n/d	0.021	0.008	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
P-4 0.454	2.695	n/d	0.004	0.004	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d

Продовження таблиці 3.1.

Елементний (Mn, K, Pb, Br, Cd, Ge, Ba, La, Mo, Zn) та кількісний склад (%) досліджуваного віконного скла (де відбивання - зелене, а поглинання – жовте, n/d – не виявлено)

Glass/Elements	Mn	K	Pb	Br	Cd	Ge	Ba	La	Mo	Zn
S-6 0.299	n/d	n/d	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
L-6 0.257	0.01	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.01	n/d
S-4 0.233	n/d	n/d	0.009	n/d	0.015	0.002	n/d	n/d	n/d	0.003
P-4 0.224	n/d	n/d	0.007	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.004
O-6 0.218	n/d	2.031	0.018	0.003	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.006
O-4 0.204	n/d	n/d	0.008	n/d	n/d	n/d	n/d	0.068	n/d	n/d
G-6 0.2	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
S-3 0.195	0.029	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.002
Eu-4 0.18	0.012	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
L-4 0.171	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.145	0.217	n/d	n/d
S-3 1.152	0.029	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.002
S-4 1.117	n/d	n/d	0.009	n/d	0.015	0.002	n/d	n/d	n/d	0.004
S-6 1.117	n/d	n/d	0.004	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
L-4 1.099	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.145	0.217	n/d	n/d
G-6 0.977	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Eu-4 0.681	0.012	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
O-4 0.663	n/d	n/d	0.008	n/d	n/d	n/d	n/d	0.068	n/d	n/d
L-6 0.628	0.01	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.01	n/d
O-6 0.611	n/d	2.031	0.004	0.003	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.006
P-4 0.454	n/d	n/d	0.007	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0.004

Дослідивши елементний та кількісний склад досліджуваного віконного скла, розподілимо хімічні елементи за періодами та групами періодичної системи хімічних елементів.

Таблиця 3.2.

Зв'язок коефіцієнту відбивання з елементним складом досліджуваного скла відповідно до періодичної системи хімічних елементів (за періодами)

Скло	Коефіцієнт відбивання	Елементний склад			
		3 період	4 період	5 період	6 період
S-6	0,0299	[Na Si S]	[Ca Ti Zn Fe As]	[Sr Zr Sn]	-
L-6	0,0257	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Mn Fe As]	[Rb Sr Zr Mo Sn I]	-
S-4	0,0233	[Na Si S]	[Ca Ti Fe Ge Ni Zn]	[Sr Y Zr Nb Cd Sn]	[Pb]
P-4	0,0224	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Fe Zn]	[Rb Sr Y Zr Nb Sn]	[Pb]
O-6	0,0218	[Si]	[K Ca Ti Fe Zn]	[Rb Sr Y Zr Sn]	[Pb]
O-4	0,0204	[Si]	[Ca Ti Fe]	[Sr Zr Sn I]	[La Pb]

G-6	0,0200	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Fe Ni]	[Rb Sr Y Zr Nb Ag Sn Sb I]	-
S-3	0,0195	[Na Si S]	[Ca Ti Mn Fe Ni Zn Br]	[Sr Zn Mo Sn Sb I]	-
Eu-4	0,0180	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Mn Fe Ni As]	[Rb Rh Sr Zr Nb Sn I]	-
L-4	0,0171	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Mn Fe As]	[Rb Sr Zr Sn I]	[Ba La]

Таблиця 3.3.

Зв'язок коефіцієнту відбивання з елементним складом досліджуваного скла відповідно до періодичної системи хімічних елементів (за групами)

Скло	Коефіцієнт відбивання	Елементний склад							
		1 група	2 група	3 група	4 група	5 група	6 група	7 група	8 група
S-6	0,0299	[Na]	[Ca Zn Sr]	-	[Si Sn] [Ti Zr]	[As]	[S]	-	[Fe]
L-6	0,0257	[Na Rb]	[Mg Ca Sr]	-	[Si Sn] [Ti Zr]	[As]	[S] [Mo]	[Mn] [I]	[Fe]
S-4	0,0233	[Na]	[Ca Sr] [Zn Cd]	[Y]	[Si Ge Sn Pb] [Ti Zr]	[Nb]	[S]		[Fe Ni]
P-4	0,0224	[Na Rb]	[Mg Ca Sr] [Zn]	[Y]	[Si Sn Pb] [Ti Zr]	[Nb]	[S]	-	[Fe]
O-6	0,0218	[K Rb]	[Ca Sr] [Zn]	[Y]	[Si Sn Pb] [Ti Zr]	-	-	-	[Fe]
O-4	0,0204	-	[Ca Sr]	[La]	[Si Sn Pb] [Ti Zr]	-	-	[I]	[Fe]
G-6	0,0200	[Na Rb] [Ag]	[Mg Ca Sr]	[Y]	[Si Sn] [Ti]	[Nb] [Sb]	[S]	[I]	[Fe Ni]
S-3	0,0195	[Na]	[Ca Sr] [Zn]	-	[Si Sn] [Ti]	[Sb]	[S] [Mo]	[Br] [Mn] [I]	[Fe Ni]
Eu-4	0,0180	[Na Rb]	[Mg Ca Sr]	-	[Si Sn] [Ti Zr]	[As] [Nb]	[S]	[Mn] [I]	[Fe Ni] [Rh]
L-4	0,0171	[Na Rb]	[Mg Ca Sr Ba]	[La]	[Si Sn] [Ti Zr]	[As]	[S]	[I] [Mn]	[Fe]

З таблиць 3.2. і 3.3. видно, що коефіцієнт відбивання змінюється відповідно до зміни хімічного складу досліджуваного скла. Це зумовлено наявністю в складі досліджуваного скла таких хімічних елементів, як: Rb, Ag, Zn, Cd, Ba, La, Pb, Mn, I та ін., радіуси і електронна будова яких зумовлюють, на нашу думку, значний вплив на захисні властивості досліджуваного скла від лазерних систем акустичної розвідки, а саме зменшення коефіцієнту відбивання і збільшення коефіцієнту поглинання. Це дає можливість прогнозувати властивості та моделювати хімічний склад скла із заданими захисними властивостями.

Таблиця 3.4.

Зв'язок коефіцієнта поглинання з елементним складом досліджуваного скла в
відповідно до періодичної системи хімічних елементів

Скло	Коефіцієнт поглинання	Елементний склад			
		3 період	4 період	5 період	6 період
G-6	0,151	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Fe Ni]	[Rb Sr Y Zr Nb Ag Sn Sb I]	-
L-4	0,114	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Mn Fe As]	[Rb Sr Zr Sn I]	[Ba La]
Eu-4	0,112	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Mn Fe Ni As]	[Rb Rh Sr Zr Nb Sn I]	-
P-4	0,095	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Fe Zn]	[Rb Sr Y Zr Nb Sn]	[Pb]
S-3	0,092	[Na Si S]	[Ca Ti Mn Fe Ni Zn Br]	[Sr Zn Mo Sn Sb I]	-
O-4	0,089	[Si]	[Ca Ti Fe]	[Sr Zr Sn I]	[La Pb]
O-6	0,082	[Si]	[K Ca Ti Fe Zn]	[Rb Sr Y Zr Sn]	[Pb]
L-6	0,075	[Na Mg Si S]	[Ca Ti Mn Fe As]	[Rb Sr Zr Mo Sn I]	-
S-6	0,051	[Na Si S]	[Ca Ti Zn Fe As]	[Sr Zr Sn]	-
S-4	0,042	[Na Si S]	[Ca Ti Fe Ge Ni Zn]	[Sr Y Zr Nb Cd Sn]	[Pb]

Таблиця 3.5.

Зв'язок коефіцієнту поглинання з елементним складом досліджуваного скла
відповідно до періодичної системи хімічних елементів (за групами)

Скло	Коефіцієнт поглинання	Елементний склад							
		1 група	2 група	3 група	4 група	5 група	6 група	7 група	8 група
G-6	0,151	[Na Rb] [Ag]	[Mg Ca Sr]	[Y]	[Si Sn] [Ti]	[Nb] [Sb]	[S]	[I]	[Fe Ni]
L-4	0,114	[Na Rb]	[Mg Ca Sr Ba]	[La]	[Si Sn] [Ti Zr]	[As]	[S]	[I] [Mn]	[Fe]
Eu-4	0,112	[Na Rb]	[Mg Ca Sr]	-	[Si Sn] [Ti Zr]	[As] [Nb]	[S]	[Mn] [I]	[Fe Ni] [Rh]
P-4	0,095	[Na Rb]	[Mg Ca Sr] [Zn]	[Y]	[Si Sn Pb] [Ti Zr]	[Nb]	[S]	-	[Fe]
S-3	0,092	[Na]	[Ca Sr] [Zn]	-	[Si Sn] [Ti]	[Sb]	[S] [Mo]	[Br] [Mn] [I]	[Fe Ni]
O-4	0,089	-	[Ca Sr]	[La]	[Si Sn Pb] [Ti Zr]	-	-	[I]	[Fe]
O-6	0,082	[K Rb]	[Ca Sr] [Zn]	[Y]	[Si Sn Pb] [Ti Zr]	-	-	-	[Fe]
L-6	0,075	[Na Rb]	[Mg Ca Sr]	-	[Si Sn] [Ti Zr]	[As]	[S] [Mo]	[Mn] [I]	[Fe]
S-6	0,051	[Na]	[Ca Zn Sr]	-	[Si Sn] [Ti Zr]	[As]	[S]	-	[Fe]
S-4	0,042	[Na]	[Ca Sr] [Zn Cd]	[Y]	[Si Ge Sn Pb] [Ti Zr]	[Nb]	[S]	-	[Fe Ni]

З таблиць 3.4. і 3.5. спостерігається підтвердження загальної закономірності зв'язку між коефіцієнтами відбивання і поглинання. Хімічні елементи, що сприяють відбиванню, зменшують коефіцієнт поглинання. Механізм цієї залежності, на нашу думку, пояснюється електронною будовою атомів хімічних елементів (заповненість s-, p-, d-, f-рівнів елементів та відповідних їм радіусів).

3.2. Дослідження зміни захисних властивостей скла на основі використання діелектричних плівок діоксиду гафнію

Нами запропоновано використання захисних плівок з високою відбиваючою здатністю, що ускладнює або робить неможливим зняття інформації оптичним методом. Але крім захисних плівок можна використовувати і скло з спеціальним відбиваючим напиленням. В якості показника захищеності було вибрано коефіцієнт відбиття лазерного променя від скла.

Для досліджень використовували найбільш розповсюджене в Україні скло, описане нами в попередньому параграфі при дослідженні захисних властивостей скла від лазерного зондування в залежності від його елементного складу (п.3.1), а саме: Lysychansk, Saint-Gobain, Orion-Glass, Guardian, Euroglas, Pilkington [63, 65, 92, 94, 95, 98].

В даній роботі в якості напилювача було обрано діоксид гафнію, оскільки його показник заломлення набагато більший, ніж у скла (1,9 - 2,07) [67], він є стійким до зовнішніх впливів та широко використовується в якості інтерференційного покриття для оптики.

Напилення діелектричного покриття здійснювалось з допомогою установки вакуумного напилення фірми TORR (USA) [72] при вакуумі 10^{-1} мм.рт.ст. $1.5 \cdot 10^{-4}$ Torr при обертанні підкладок з швидкістю обертання 20-40 об/хв. Для визначення зміни коефіцієнта відбивання покриття в процесі напилення використовували оптичний монітор Dyn-optic Model 590 [91].

Дана задача полягала у виготовленні покриття, яке збільшить коефіцієнт відбивання на довжинах хвиль 600 - 1100 нм на скляній підкладці з показником

заломлення $n=1,45$. Товщина шару HfO_2 товщиною в 100 нм була розрахована з допомогою програми Berechnung und Optimierung von dielectrischen Spiegeln – Version 0.22(c) Arnold Stark

В процесі напилення проводився контроль коефіцієнта відбивання (рис. 3.13.) з допомогою оптичного монітора DYN-OPTICS, який при використанні АЦП (аналого-цифрового перетворювача) дає змогу в реальному часі спостерігати зміну коефіцієнту відбивання під час напилення плівки [36].

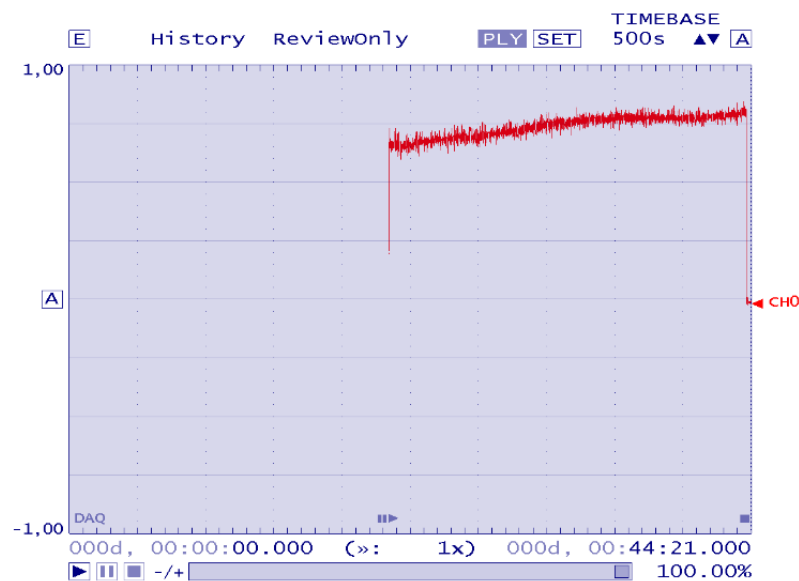


Рис. 3.13. Графік величини коефіцієнту відбивання в процесі напилення плівки

Режими електронно-променевого розпилювання:

- Струм розжарення катода $I_{\text{кат}}=40$ А;
- Струм емісії електронного пучка $I_{\text{ем}}=120$ мА;
- Прискорююча напруга $U=9$ kV.

Спектральний аналіз скла проведено на спектрофотометрі Shimadzu UV-3600, який дозволяє провести вимірювання спектра отриманих плівок в режимі відбивання і пропускання в діапазоні хвиль від 300 до 1500 нм. [105, 109]. Залежності отримували за допомогою програмного забезпечення UVProbe.

На рисунках 3.14 – 3.18. приведені спектральні характеристики коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття різних зразків скла [36].

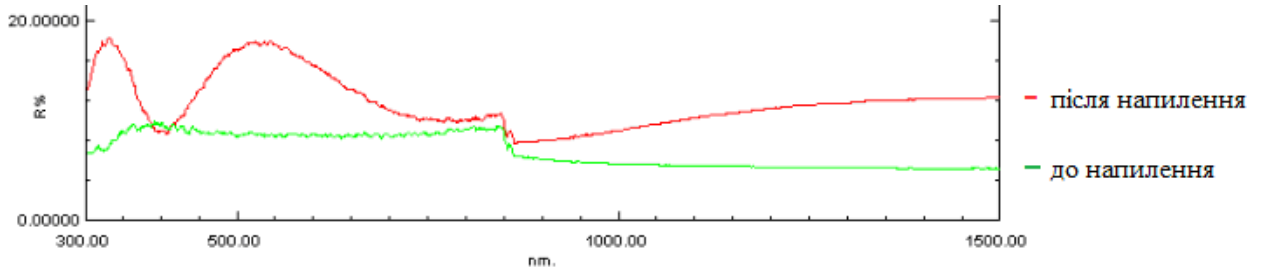


Рис. 3.14. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Euroglas Eurofloat 4мм

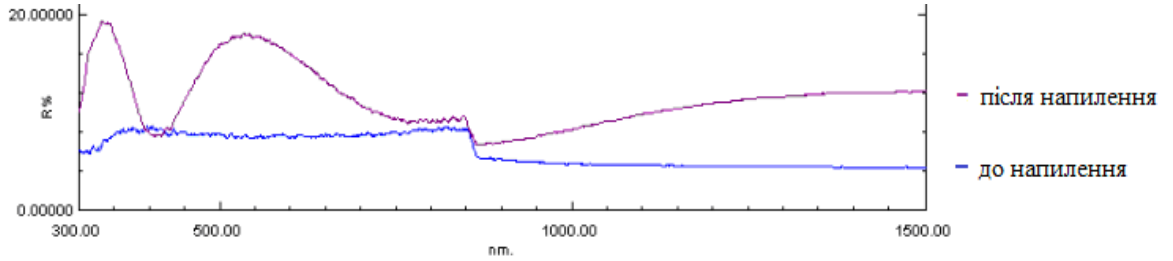


Рис. 3.15. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Guardian float Guard 6мм

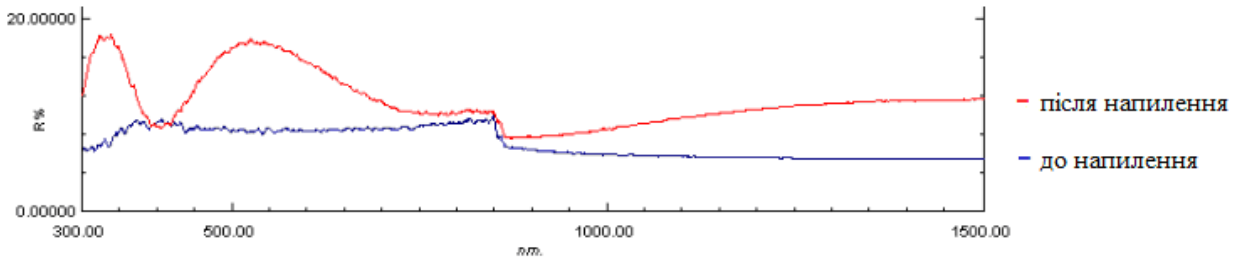


Рис. 3.16. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Lysychansk M1 4мм

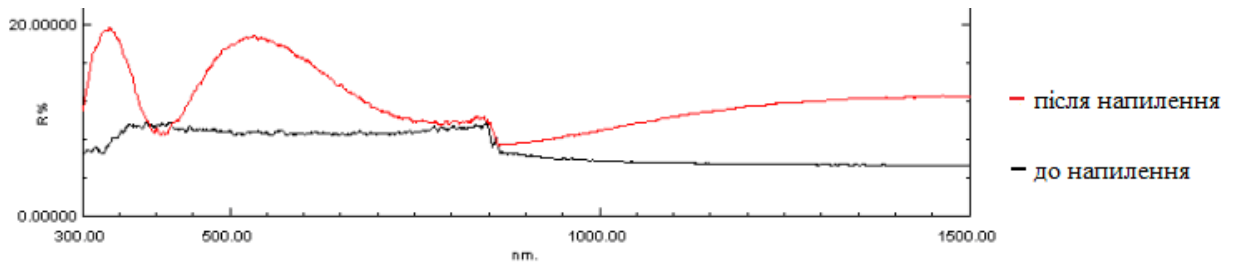


Рис. 3.17. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Pilkington Optifloat 4мм

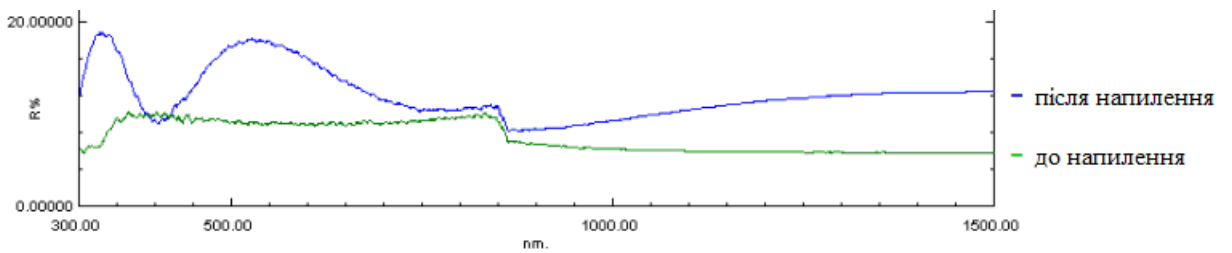


Рис. 3.18. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Saint-Gobain Diamant 3мм

З отриманих спектрів (рис. 3.14. – 3.18.) видно, що на спектрограмах коефіцієнта відбиття спостерігається наявність двох максимумів в зонах порядку 300 - 350 нм та 520 - 570 нм. Ці максимуми більшою мірою спричинені наявністю напиленого одношарового відбиваючого покриття на основі оксиду гафнію.

В зонах цих максимумів спостерігається максимальне зростання коефіцієнту відбиття порівняно зі спектрами чистого скла. Як видно з цих спектрів, перший максимум досягається за рахунок синергетичного ефекту взаємодії скла і напиленої речовини. На перших порах цей ефект приводить до різкого підвищення коефіцієнта відбивання в порівнянні з чистим склом, але коли вклад основи (скла) завершується, відбувається різке падіння коефіцієнта відбиття навіть зі зміною оптичних властивостей основи (скла). Це проявляється зменшенням коефіцієнта відбивання напиленого скла в порівнянні з чистим [36].

Другий максимум в зонах 520 - 570 нм повністю обумовлений нанесеним покриттям на основі оксиду гафнію. З отриманих спектрів (рис. 3.14. – 3.18.) видно, що коефіцієнт відбивання скла з напиленою плівкою при певних довжинах хвиль (550+-20 нм) зростає майже в два рази в порівнянні із спектрами чистого скла. Отже, провал в зонах 800 - 900 нм зумовлений перш за все процесами, що відбуваються в основі (чистому склі). В цьому випадку синергетичний ефект, тобто взаємовплив плівки і основи, не спостерігається [36].

З отриманих графіків видно, що коефіцієнт відбивання скла з напиленою плівкою значно вищий в порівнянні із чистим склом. Отже, плівка HfO_2 задовільняє вимоги, що поставленні у задачі і відповідає отриманим закономірностям взаємозалежності $K_{\text{відб.}}$ скла від елементного складу. Таким чином, гафній як елемент 6 періоду 4 групи із заповненим f- підрівнем і високим коефіцієнтом

заломлення підтверджує встановлену нами закономірність. Як видно із спектральних характеристик для різних зразків скла $K_{\text{відб}}$ здебільшого визначається поверхневим шаром.

3.3. Аналіз впливу фізико-хімічних властивостей напівпровідникової плівки ВаCuTeF на захисні властивості скла від ЛСАР

In_2O_3 легований Sn, так званий ІТО (Indium tin oxide) - розглянутий у попередніх дослідженнях оксид індію та олова, був використаний у плівкових покриттях, які здатні до блокування частини інфрачервоного випромінювання [85, 93].

У попередніх дослідженнях ІТО представлявся як матеріал, здатний блокувати ІЧ-випромінювання в діапазоні від 1400 до 2500 нм. Однак, беручи до уваги діапазони роботи пристроїв ЛСАР, можна сказати, що використання такого шару не є ефективним у вирішенні завдань у цій роботі. Крім того, індій є рідкісним металом і має відносно високу ціну, яка постійно зростає.

Другий шар, що містив у своєму складі органічні барвники, навпаки, блокував ІЧ випромінювання у потрібному для захисту проміжку - від 800 до 1400 нм і до того ж залишався прозорим для видимого світла. Ці особливості захисного шару майже ідеально підходять для організації безпеки витоку мовної інформації опто-електронним каналом.

Виходячи з того, що використання розглянутого вище оксиду металу не є актуальним для створення повноцінного захисту, в роботі представлено дослідження властивостей альтернативи шару ІТО – плівкового покриття ВаCuTeF.

ВаCuTeF один із представників класу широко зонних напівпровідників р-типу. Структура елементарної комірки цих матеріалів тетрагональна [85]. В матеріалі ВаCuTeF ковалентні шари Cu та Te – чергуються із іонними шарами Ва та F – у напрямку осі z (рис. 3.19.). Шари Ва – F забезпечують просторове розділення шарів Cu – Te. Це призводить до зростання ширини забороненої зони ВаCuTeF порівняно із матеріалом Cu_2Te .

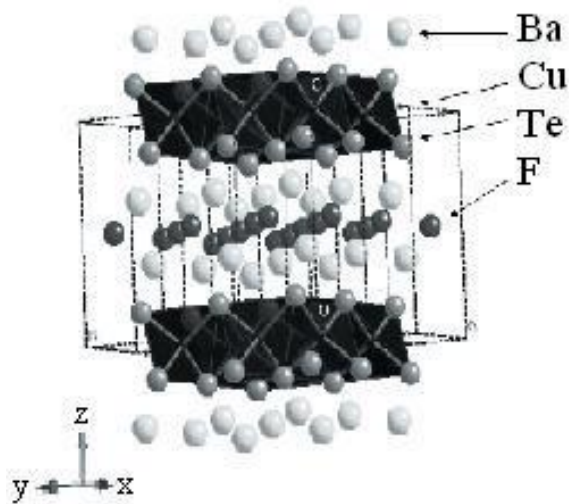


Рис. 3.19. Кристалічна структура BaCuTeF

BaCuTeF відомий як прямозонний напівпровідник із дозволеними переходами між вершиною валентної зони і дном зони провідності. Заборонена зона матеріалу плівок після відпалу при температурі 500°C і менше, розрахована і становила 2,9 еВ, що є значно більшим від експериментального значення для матеріалу у формі пресованого порошку. Для плівок отриманих при температурах відпалу 550°C і більше ширина забороненої зони становить 2,3 еВ, що відповідає значенню забороненої зони для матеріалу у формі спресованого порошку.

Питомий опір відпалених плівок зростає із збільшенням температури відпалу і при кімнатній температурі для плівок відпалених до 550°C лежить у межах 27,4 – 85,1 мОм·см. Ці значення є досить високими як для широко зонного провідника р-типу, що свідчить про добру якість отриманих плівок і потенційно широкі можливості його застосування.

Напівпрозорі аморфні плівки BaCuTeF були отримані методом імпульсного лазерного напилення підкладки при кімнатній температурі та подальшого відпалу в атмосфері аргону. Процес лазерного напилення був обраний через можливість стехіометричного розпилення матеріалу. Для кристалізації отриманих аморфних плівок проводили відпал в атмосфері аргону. Дана методика напилення описана в п. 2.2.4. нашого дослідження.

Щоб отримати кристалічну структуру, відпал проводили на установці швидкого термічного відпалу в атмосфері аргону. Відпал відбувався при

температурах 300, 400, 500, 550, 600 і 700 °С. Процес відпалу тривав 10 хвилин, попередньо 10 хвилин прокачували аргон при кімнатній температурі з поступовим охолодженням після відпалу.

Аналізуючи зображення плівок, отриманих за допомогою атомного силового мікроскопу (рис. 3.20. а, б), можна помітити наявність кристалів розміром ~100 нм. [13].

Отже, структура поверхні плівок, відпалених при 500°С, є дійсно полікристалічною. Цей факт підтверджує висновки, зроблені з рентгеноструктурного аналізу.

Далі проводилось дослідження оптичних властивостей плівки. Для вимірювання потужності лазерного променя використовували лазерний триангуляційний датчик РФ-630 з довжиною хвилі 660 нм, та оптичною потужністю випромінювання 150 мВт.

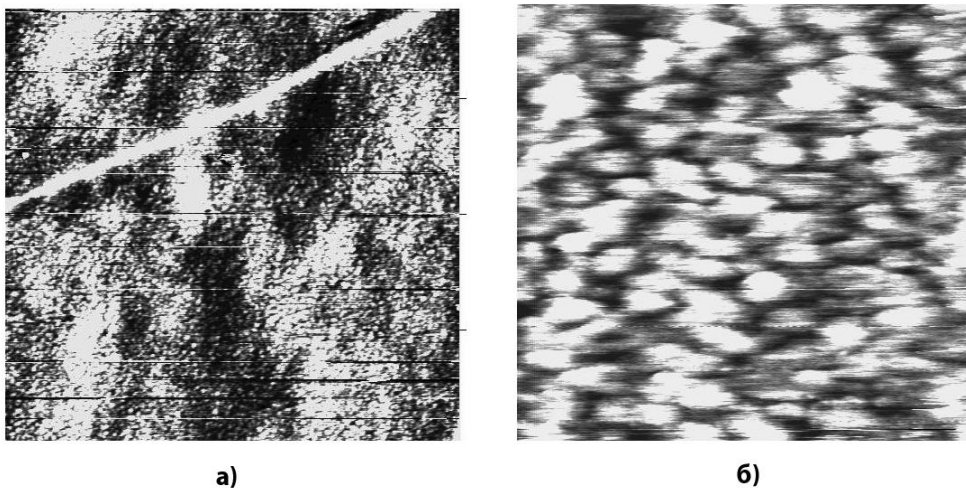


Рис. 3.20. Мікрофотографії, отримані за допомогою атомного силового мікроскопу: а – площа сканування 10 мкм²; б – площа сканування 1 мкм²

Параметрами захищеності слугували коефіцієнти пропускання, відбивання та поглинання лазерного променя.

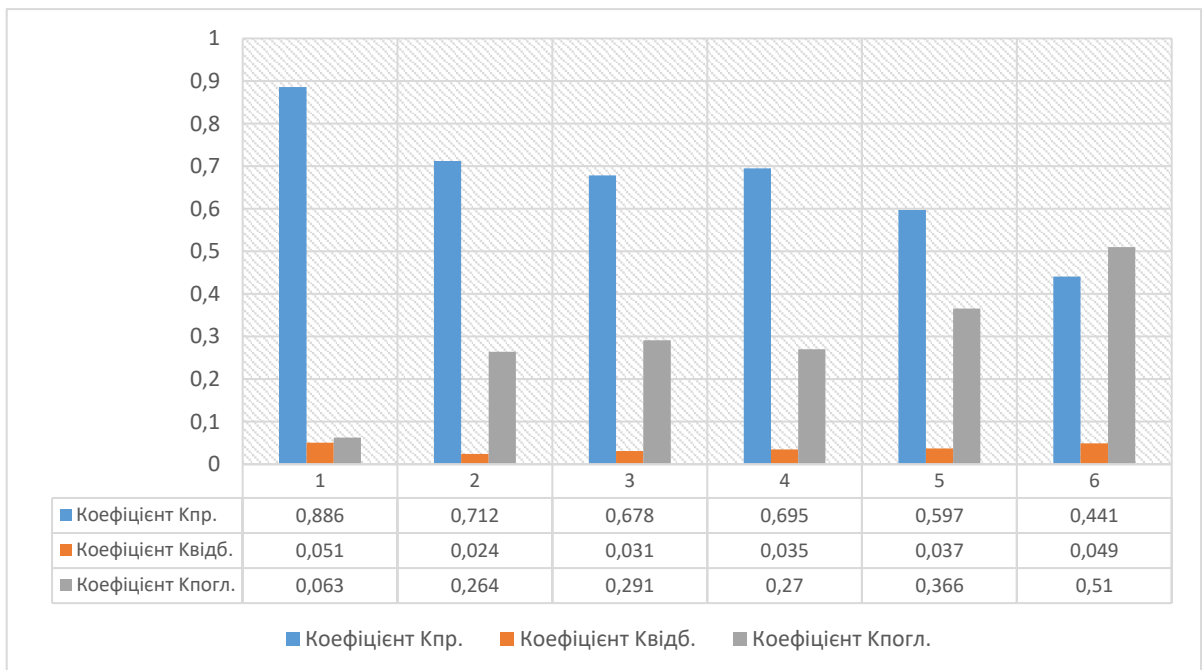
За допомогою наведеної вище установки були виміряні:

- потужність пройденого через зразок променя P_{np} ;
- потужність відбитого променя від досліджуваного зразка $P_{відб}$;
- поглинуту потужність лазерного випромінювання зразком $P_{погл}$.

Відповідні коефіцієнти пропускання, відбивання та поглинання знаходили за формулами 2.1, 2.2, 2.3, наведеними в п. 2.2.6. нашого дослідження.

Вимірювання коефіцієнтів пропускання, відбивання та поглинання лазерного променя запропонованими плівками проводили на зібраній установці. Коефіцієнти пропускання і відбивання лазерного променя від зразків плівки, відпаленої при різних температурах, наведені в діаграмі (Рис. 3.21.) [10]. Для прикладу в діаграмі наведені коефіцієнти звичайного віконного скла.

Прозорість при використанні лазера для плівок, відпалених при температурах, менших за 600°C, знаходиться у межах 65-70%. Для плівок, відпалених при температурах 600 °C і вище, прозорість нижча і знаходиться в межах 45-60%. Очікується, що прозорість зменшиться через збільшення поглинання внаслідок утворення більш упорядкованих полікристалічних фаз, BaF_2 і $\text{Cu}_x\text{Te}_{1-x}$, у структурі BaCuTeF [41]. Оскільки, $\text{Cu}_x\text{Te}_{1-x}$ є металом, що і є причиною збільшення поглинання.



- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1) Звичайне скло | 4) Плівка BaCuTeF (500 °) |
| 2) Плівка BaCuTeF (300 °) | 5) Плівка BaCuTeF (600 °) |
| 3) Плівка BaCuTeF (400 °) | 6) Плівка BaCuTeF (700 °) |

Рис. 3.21. Результат дії лазерного променя на плівку / скло

Плівки, відпалені при температурі 700 °С, можуть поглинати частину (51%) лазерного випромінювання з довжиною хвилі 658 нм. Однак підвищене поглинання цього діапазону хвиль впливає на пропускання видимої частини спектру і, таким чином, унеможлиблює використання цих плівок, якщо очікується висока освітленість у приміщенні. Якщо вимоги безпеки включають захист від візуально-оптичної розвідки, низьке пропускання видимого світла може бути перевагою.

Таким чином, застосування плівки ВаCuTeF, відпаленої при різних температурах, підтверджує отримані в п. 3.1. закономірності. А саме, коефіцієнт відбивання залежить від електронної структури та місця розташування елементів плівкового покриття в періодичній системі хімічних елементів. Також підтверджується залежність коефіцієнту відбивання від розташування плівкового покриття на внутрішній, чи зовнішній поверхні скла. Разом з тим, плівки ВаCuTeF, отримані при різних температурах відпалу, мають різні захисні параметри, які дозволяють використовувати їх з різних сторін скла для забезпечення кращого синергетичного ефекту.

3.4. Дослідження впливу полімерних плівкових матеріалів на захисні характеристики віконного скла

Для досліджень ми обрали найпопулярніші зразки скла на ринку України, а саме Saint-Gobain Diamant 6мм [51] та Guardian float Guard 6мм [66].

Після встановлення кожного зразка у вимірювальну камеру рентгенофлуоресцентного аналізатора елементарного складу «EXPERT 3L» і запуску програми, через деякий час ми отримали спектр і склад хімічних елементів і відповідні їм масові концентрації з похибкою визначення 0,01% масової частки [33], які можна переглянути в таблицях 3.1. та 3.2. п. 3.1. нашого дослідження.

При аналізі зразків на домішки виявлено, що вміст таких елементів, як Mg, Na, S, Fe у зразках скла Saint-Gobain та Guardian перевищує 0,1%. (Рис 3.22.).

Saint-Gobain: Na- 2,251%, S- 0,372%, Fe- 0,476%.

Guardian: Mg- 2,093%, Na- 2,378%, S- 0,321%, Fe- 0,482%.

Як видно з рис. 3.22., основний вміст домішок складають Na, S, Fe і в обох зразках він майже однаковий.

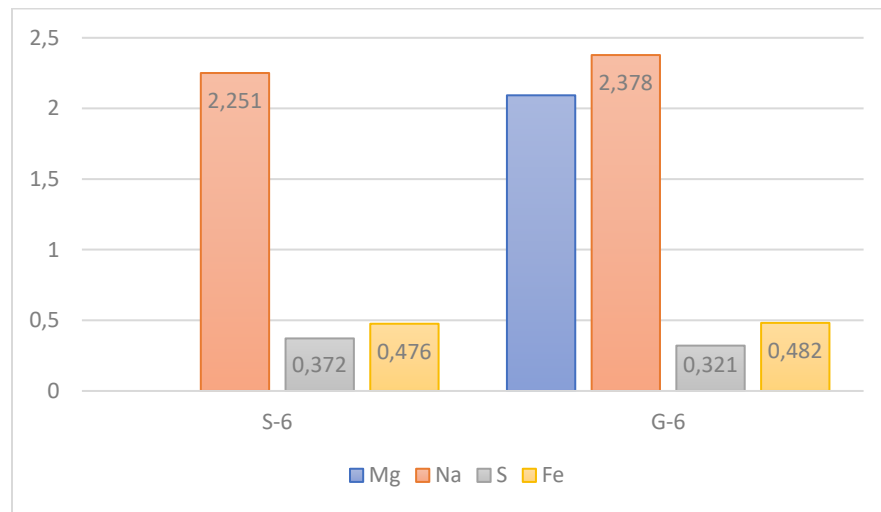


Рис 3.22. Вміст домішок в зразках скла виробників Saint-Gobain (S-6) та Guardian (G-6), кількість яких перевищує 0,1%

Відповідно, на захисні властивості може впливати присутній у тому чи іншому зразку компонент. Порівнюючи дані таблиці 3.1., видно, що в склад скла Guardian, крім зазначених, входить Mg у кількості 2,093%. Очевидно, що цей елемент має вплив на поведінку зразків під дією випромінювання. Спектральні показники зразків скла наведено на рис. 3.23.

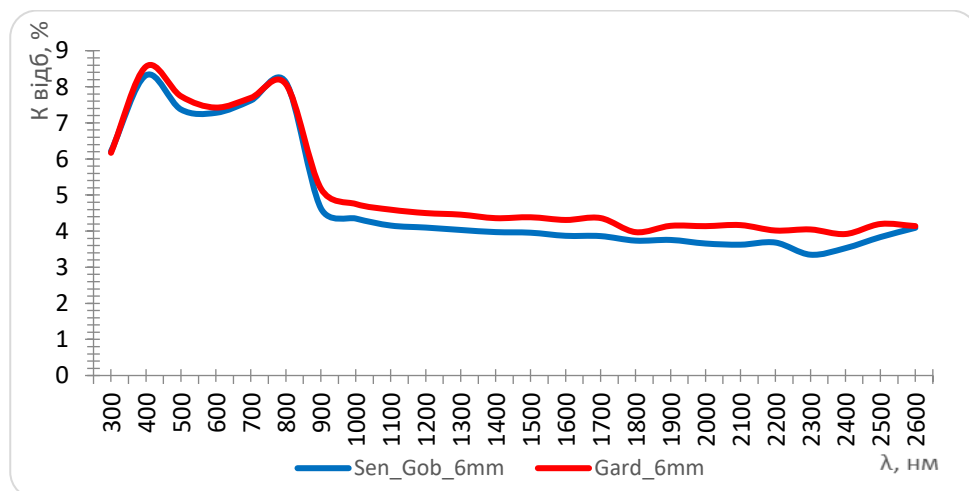


Рис 3.23. Коефіцієнти відбивання зразків скла в діапазоні частот від 300 до 2600нм

Як видно, скло Guardian в діапазоні частот від 900 до 2500 нм має трохи кращі характеристики за коефіцієнтом відбиття. Це означає, що Mg при вмісті в

склі 2,093% покращує захисний ефект на 0,5% в діапазоні від 900 до 2500 нм. Цей ефект незначний. Це було підтверджено вимірюванням показника заломлення зразків скла, який становить $n=1,52-1,53$.

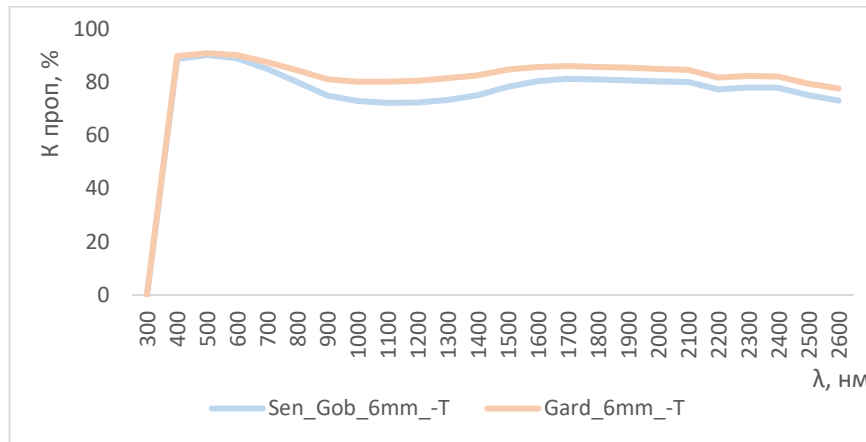


Рис 3.24. Коефіцієнти пропускання зразків скла в діапазоні частот від 300 до 2600нм

З рис. 3.24. видно, що скло Guardian не годиться для захисту від дії ЛСАР, так як його коефіцієнт пропускання більший, ніж коефіцієнт пропускання скла Saint-Gobain на 1 % в діапазоні частот 660 – 2600нм.

Крім того, плівка SMC 12, яка використовується для захисту вікон комерційних підприємств і банківських структур, пройшла випробування на захист скла від впливу ЛСАР. SMC 12 - прозора плівка, що використовується для захисту скла від руйнування. Ця плівка складається з двох шарів прозорого поліестера.

Крім того плівка містить захисний шар від подряпин та інсталяційний клей, що являє собою стійкий до перепадів температури акриловий шар, який самоклеїться та містить УФ поглиначі і стабілізатори (Рис. 3.25.)



Рис. 3.25. Структура плівки SMC 12

Також проведено дослідження оптичних характеристик плівки SMC 12

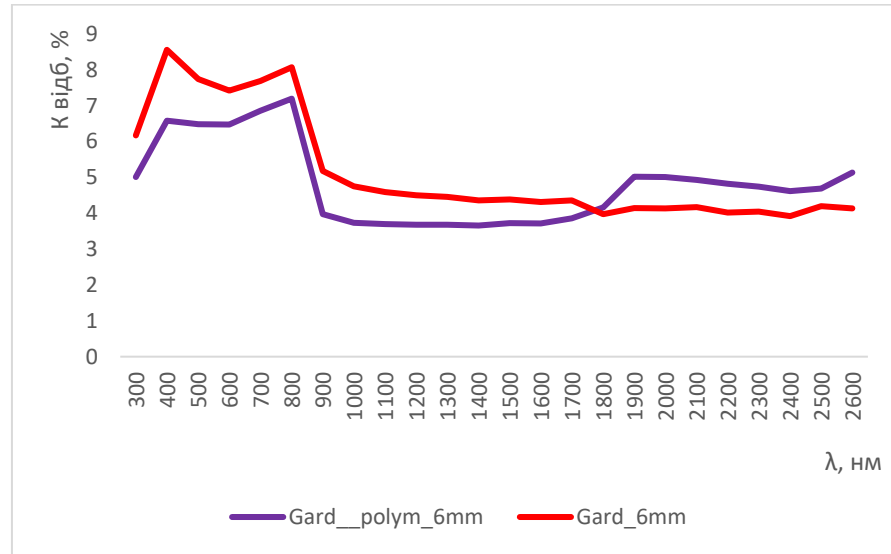


Рис.3.26. Результати вимірювання коефіцієнта відбивання скла Guardian із плівкою SMC 12

З рисунка 3.26. видно, що плівка в діапазоні частот від 300 до 1800 нм не покращує характеристик скла Guardian, коли вона наклеєна з внутрішньої сторони скла з боку відбитого лазерного променя і покращує характеристики скла, коли нанесена зовні на скло з боку прямої дії лазерного променя.

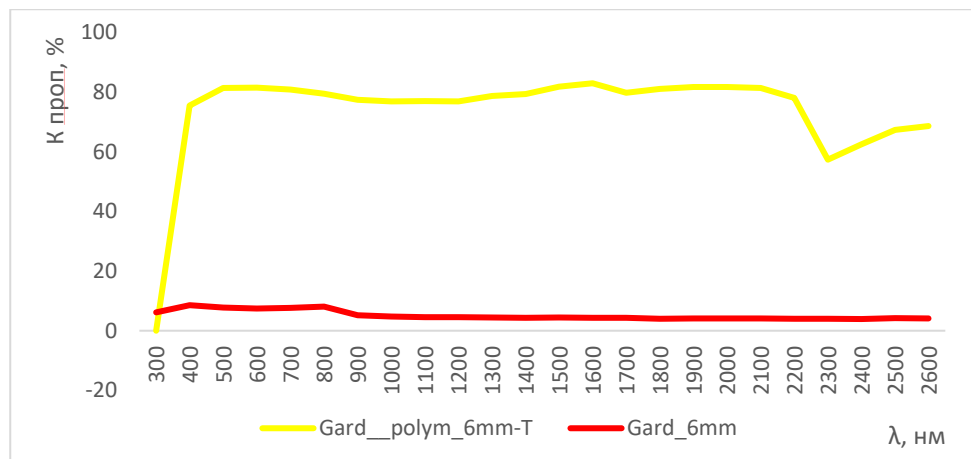


Рис.3.27. Результати вимірювання коефіцієнта пропускання скла Guardian із плівкою SMC 12

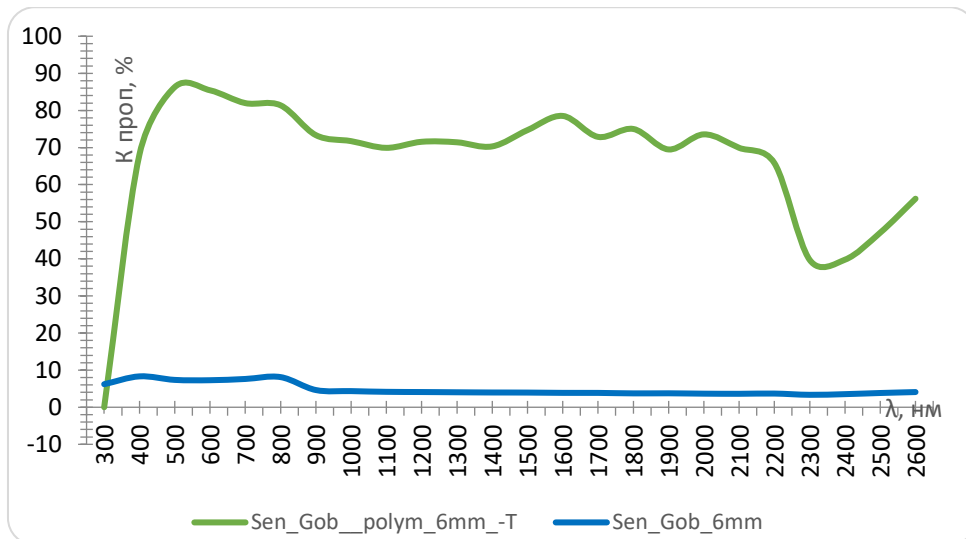


Рис 3.28. Коефіцієнти пропускання скла Saint-Gobain із захисною плівкою SMC 12

Як видно з рис. 3.27 та 3.28 досліджувані зразки скла із захисною плівкою SMC 12 не годяться для захисту скла від ЛСАР, тому що дія плівки підвищує коефіцієнт пропускання в діапазоні частот від 550 до 2200 нм. Як наслідок, значна частина інформації, яку хочемо захистити, буде доступнішою для зняття ЛСАР.

3.5. Дослідження коефіцієнтів пропускання, відбивання та поглинання для різних зразків скла із плівковим покриттям в залежності від кута нахилу зразка і розміщення плівки

З допомогою лазерної установки були виміряні: потужність лазера $P_{вх}$, потужність пройденого через зразок променя $P_{пр}$, потужність відбитого променя від досліджуваного зразка $P_{відб}$. Також була виміряна поглинута потужність лазерного випромінювання зразком $P_{погл}$.

Коефіцієнт пропускання, коефіцієнт відбивання, та коефіцієнт поглинання знаходили за формулами 2.1-2.3. Розрахункові дані записані в таблицях 3.6-3.11.

Дослідження захисних характеристик плівки проводили на зібраній експериментальній установці, в якості параметрів захищеності були вибрані коефіцієнти пропускання, відбивання та поглинання лазерного променя, як і у

попередньому розділі. На кожен з двох взірців скла по черзі встановлювалась плівка. Скло перед встановленням плівки промивалось і висушувалось [36].

Для експерименту ми обрали зразки товщиною 4 мм скла Lysychansk, Euroglas, Pilkington, Saint-Gobain, які найчастіше використовуються в склопакетах.

Для експерименту була обрана плівка SMC 12. Це прозора плівка, яка захищає скло від руйнування. В її складі є два шари прозорого поліестеру, шар проти подряпин та інсталяційний клей.

Зображення коефіцієнтів пропускання, відбивання та поглинання усіх зразків скла під різним кутом нахилу та розміщення плівки наведено у вигляді графіків (Рис. 3.29-3.34).

Зведені результати досліджень коефіцієнтів пропускання, відбивання та поглинання до і від лазерного променя (ЛП) приведені в таблицях 3.6-3.11

Таблиця 3.6

Коефіцієнти пропускання для всіх зразків до ЛП

	35°	45°	60°	90°
Lysychansk	0,56	0,6	0,59	0,855
Euroglas	0,53	0,57	0,58	0,847
Pilkington	0,54	0,57	0,58	0,815
Saint-Gobain	0,53	0,61	0,6	0,86

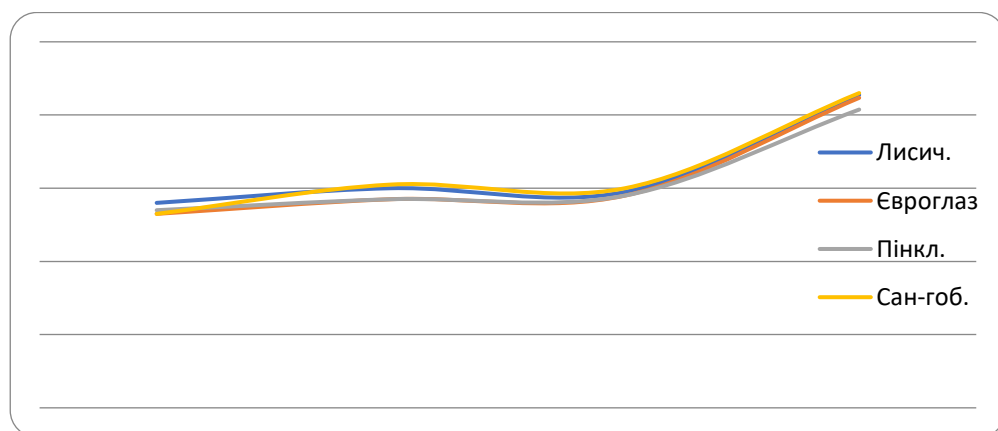


Рис. 3.29. Зображення коефіцієнтів пропускання для всіх зразків до ЛП

Таблиця 3.7

Коефіцієнти пропускання для всіх зразків від ЛП

	35 °	45 °	60 °	90 °
Lysychansk	0,57	0,55	0,56	0,855
Euroglas	0,56	0,59	0,58	0,847
Pilkington	0,53	0,56	0,57	0,815
Saint-Gobain	0,53	0,61	0,6	0,86

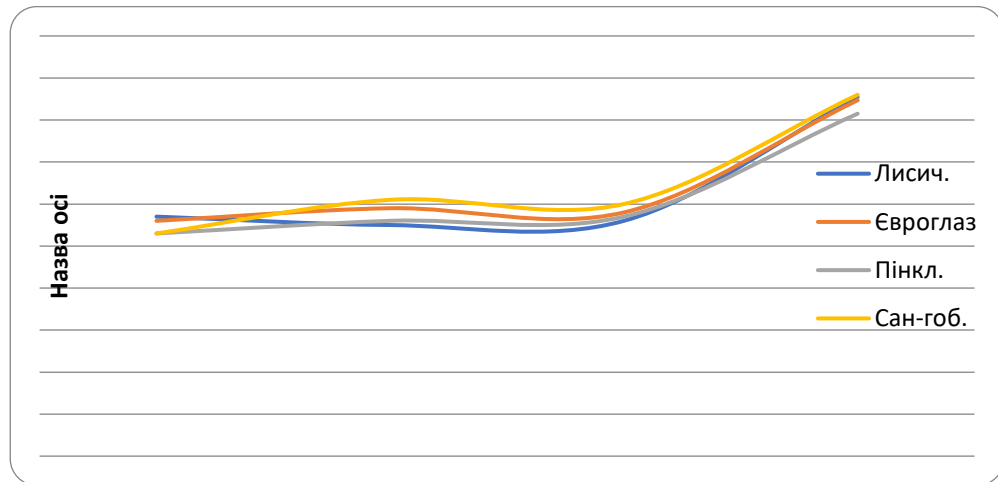


Рис. 3.30. Зображення коефіцієнтів пропускання для всіх зразків від ЛП

Як бачимо з таблиць 3.6.і 3.7, при куті падіння від 35° до 60° коефіцієнт пропускання змінюється незначно, при куті падіння від 60° до 90° – досить суттєво. При цьому, $K_{\text{проп}}$ при 90° до лазерного променя (ЛП) ідентичний до $K_{\text{проп}}$ від ЛП. Тобто, розташування плівки практично не впливає на $K_{\text{проп}}$, і ефекти проявляються незалежно від її місця розташування. Попередні дослідження для зразків скла Saint-Gobain – 6 і Guardian – 6 свідчать про вплив плівки на зростання $K_{\text{проп}}$. Зразки скла Saint-Gobain – 4 по аналогії з Saint-Gobain – 6 з плівковим покриттям мають більший коефіцієнт пропускання, ніж без плівки.

Таблиця 3.8

Коефіцієнти відбивання для всіх зразків до ЛП

	35 °	45 °	60 °	90 °
Lysychansk	0,1	0,14	0,08	0,028
Euroglas	0,04	0,15	0,05	0,051
Pilkington	0,09	0,09	0,1	0,042
Saint-Gobain	0,16	0,12	0,01	0,059

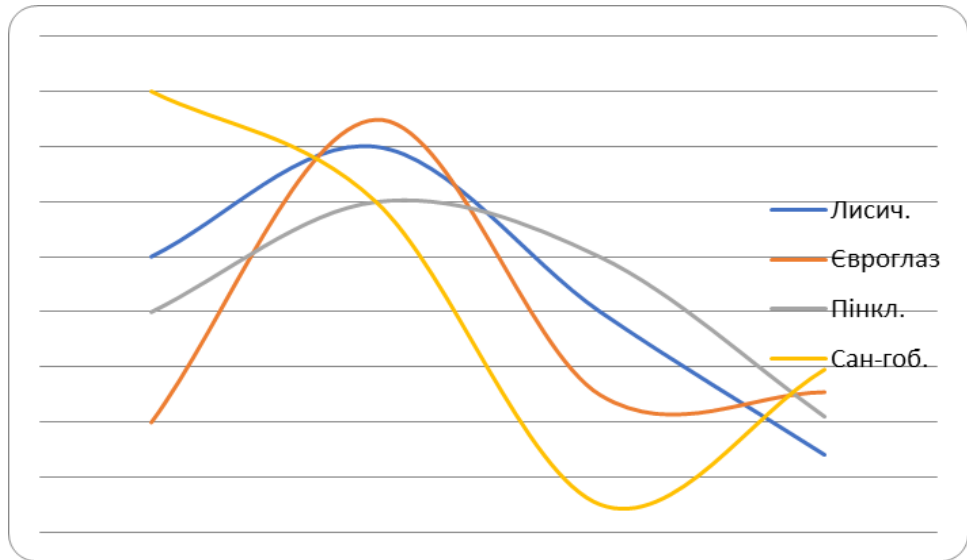


Рис. 3.31. Зображення коефіцієнтів відбивання для всіх зразків до ЛП

Виходячи з відомого факту, що кут падіння дорівнює куту відбивання констатуємо, що максимальний $K_{\text{відб}}$ спостерігається в зоні 45° .

Таблиця 3.9

Коефіцієнти відбивання для всіх зразків від ЛП

	35°	45°	60°	90°
Lysychansk	0,098	0,099	0,102	0,028
Euroglas	0,08	0,12	0,1	0,051
Pilkington	0,13	0,06	0,06	0,042
Saint-Gobain	0,16	0,14	0,13	0,059

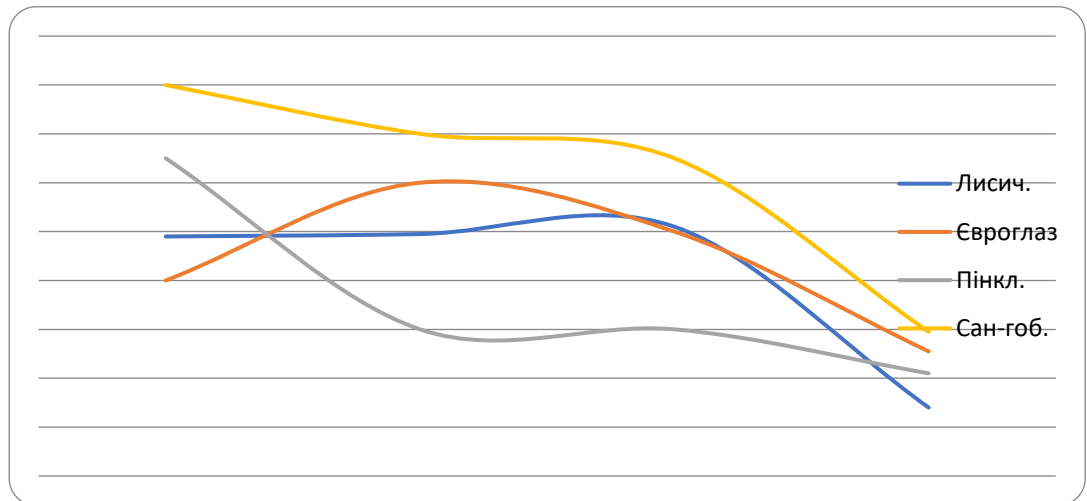


Рис. 3.32. Зображення коефіцієнтів відбивання для всіх зразків від ЛП

Коли плівка розташована від ЛП, ця закономірність не дотримується. Імовірно відбувається перерозподіл відбитого на пропущеного променів. Мінімальний $K_{\text{відб}}$ досягається при 90° для всіх зразків скла.

Таблиця 3.10

Коефіцієнти поглинання для всіх зразків до ЛП

	35 °	45 °	60 °	90 °
Lysychansk	0,43	0,4	0,4	0,138
Euroglas	0,46	0,42	0,41	0,153
Pilkington	0,45	0,42	0,41	0,184
Saint-Gobain	0,46	0,38	0,39	0,14

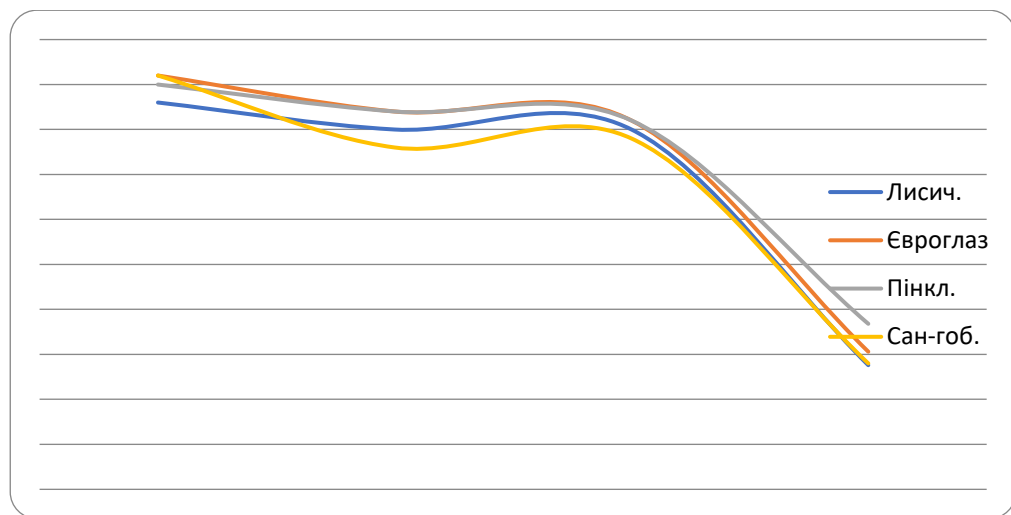


Рис. 3.33. Зображення коефіцієнтів поглинання для всіх зразків до ЛП

Таблиця 3.11

Коефіцієнти поглинання для всіх зразків від ЛП

	35 °	45 °	60 °	90 °
Lysychansk	0,42	0,44	0,43	0,138
Euroglas	0,44	0,4	0,41	0,153
Pilkington	0,46	0,43	0,42	0,184
Saint-Gobain	0,46	0,38	0,39	0,14

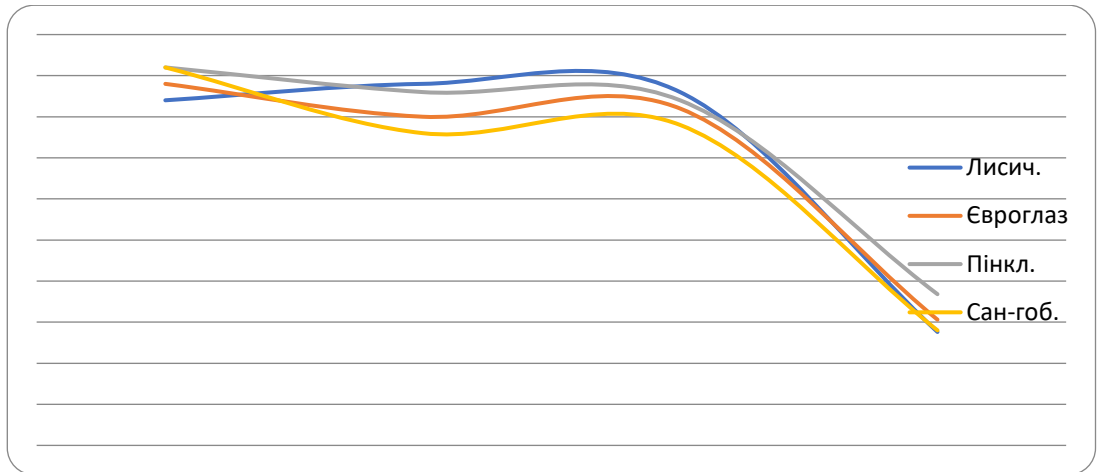


Рис. 3.34. Зображення коефіцієнтів поглинання для всіх зразків від ЛП

Як видно з таблиць 3.10 і 3.11 та графіків 3.33 і 3.34, коефіцієнт поглинання до і від ЛП різко змінюється в межах від 60° до 90° в бік зменшення. Це приводить до зменшення захищеності скла з плівковим покриттям.

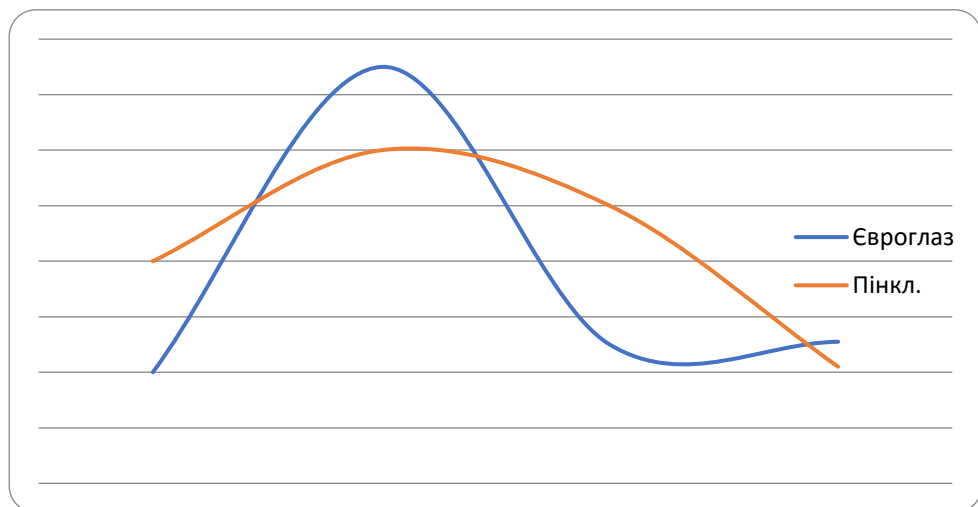


Рис. 3.35. Коефіцієнт відбивання для зразків Euroglas та Pilkington напленням до ЛП

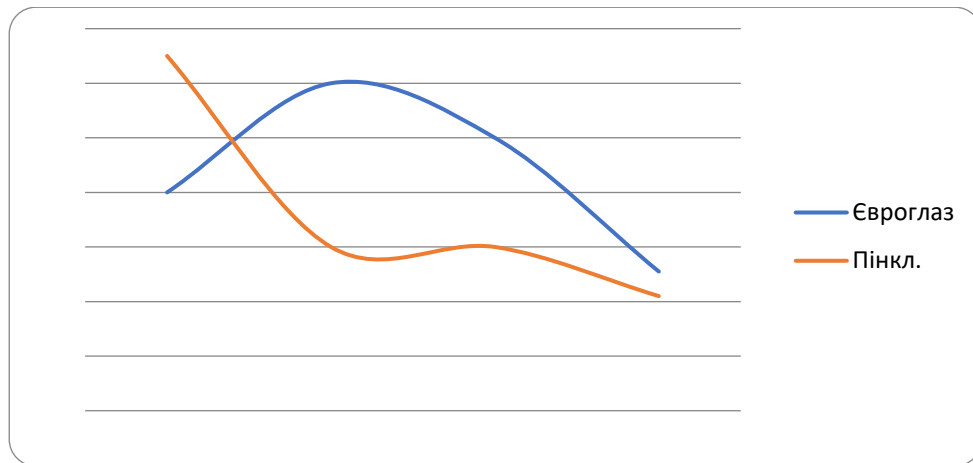


Рис. 3.36. Коефіцієнт відбивання для зразків Euroglas Pilkington напиленням від ЛП

Отже, для захисту інформації, яка циркулює в приміщенні від лазерного зондування потрібно, щоб коефіцієнт відбивання (K_{vib}) був низьким. За даними розрахунками та аналізом, одним з кращих був зразок скла Pilkington - 4мм, який був встановлений у склопакет, що відкривається під кутом 45 градусів та напиленим покриттям від лазерного променя. А найбільший (K_{vib}) у скла Euroglas (Рис. 3.35 – 3.36). У зв'язку з отриманими результатами можна рекомендувати наступні заходи захисту мовної інформації від ЛСАР: по можливості змінювати кут нахилу склопакету; використовувати рельєфні плівки із зовнішнього боку скла, тобто до лазерного променя.

3.6. Дослідження оптимізації параметрів лазерного датчика вібрації для протидії лазерним системам розвідки

Відповідно до методики роботи з лазерними триангуляційними давачами вібрації, описаної в п. 2.2.7, нами використано метод рентенофлуоресцентного аналізу елементного складу скла і покриттів на скло, що дозволяє моделювати різні склади скла з добавкою необхідних елементів для досягнення характеристик за певними вимогами. Тобто різні складові елементного складу скла та покриттів дозволяють збільшувати або зменшувати коефіцієнти відбивання, пропускання, поглинання і розсіювання, а також впливають на показник заломлення

монохромного лазерного променя при його дії на скло або скло з покриттям. Спектральний аналіз дозволить проаналізувати реакцію скла або скла з покриттями в залежності від його елементного складу на зміну коефіцієнтів пропускання та відбивання в широкому діапазоні довжин хвиль, на яких працюють сучасні лазерні системи розвідки та детектування.

Даний метод відрізняється тим, що проблема зняття інформації вирішується не шляхом усунення самої можливості проникнення променя на віброуючу поверхню або вібракустичного зашумлення цієї поверхні, а шляхом унеможливлення або значного ускладнення перехоплення зловмисником вже відбитого променя. Такий підхід дозволить забезпечити покращення комфортності роботи при достатньому рівні захищеності інформації, оскільки усувається необхідність встановлення на вікнах та інших поверхнях приміщення спеціальних пристроїв віброакустичного захисту і, відповідно, зникають додаткові фонові акустичні шуми, а також відпадає необхідність встановлення оптично непрозорих конструкцій за типом металевих ролет, які б постійно закривали вікна під час роботи чи перемовин. Для підтвердження захисних властивостей скла і плівок необхідно провести додаткові експериментальні докази, одним з яких є запропонований метод на основі аналізу вимірювань з застосуванням тріангуляційних датчиків. Проте для підвищення істинності результатів необхідно провести дослідження з оптимізації параметрів налаштування самого методу.

Перед проведенням експерименту було перевірено роботу тріангуляційного датчика вібрації на різних частотах за певний період часу. На рис. 3.37. представлена пробна залежність роботи тріангуляційного датчика вібрації при налаштуванні наступних параметрів персонального комп'ютера [15]:

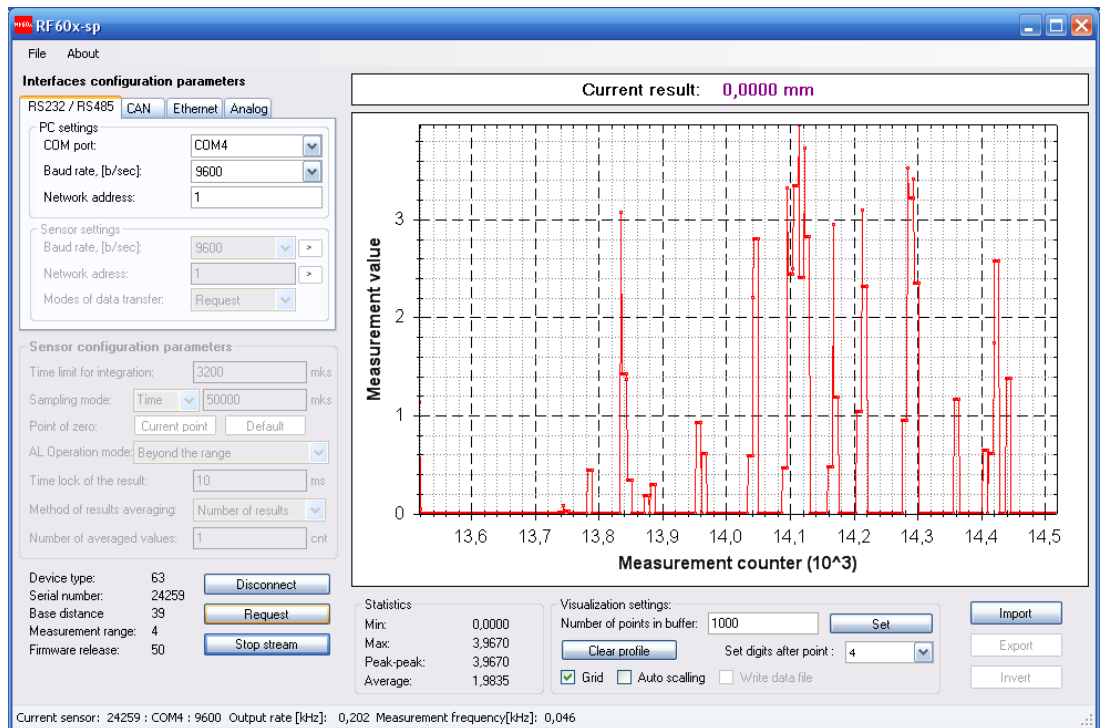


Рис. 3.37. Відносна залежність відбивання лазерного сигналу з довжиною хвилі 660 нм на частотах імпульсу від 0,046 кГц до 0,202 кГц за період часу від 13,5с до 14,5 с.

Для випробовування оптимальних режимів датчика було задіяно три зразки: чисте скло, і зразки з певним набором напилених елементів.

На рис. 3.38 - 3.40 представлені залежності, які ми отримали в результаті роботи датчика. Мінімальні та максимальні потужності та періоди виявлення тих сигналів в секундах, приведені в таблиці 3.12. [15].

Таблиця 3.12.

Експериментальні результати вимірювання параметрів

№	Зразок	Рвід, min	Рвід, max	Період, сек
1	Чистий	2,6282	3,1966	5
2	Б-1, скло №10	1,2066	1,4475	3,4
3	Pr Просвіта 500-950 нм	0,991	1,4172	6,5

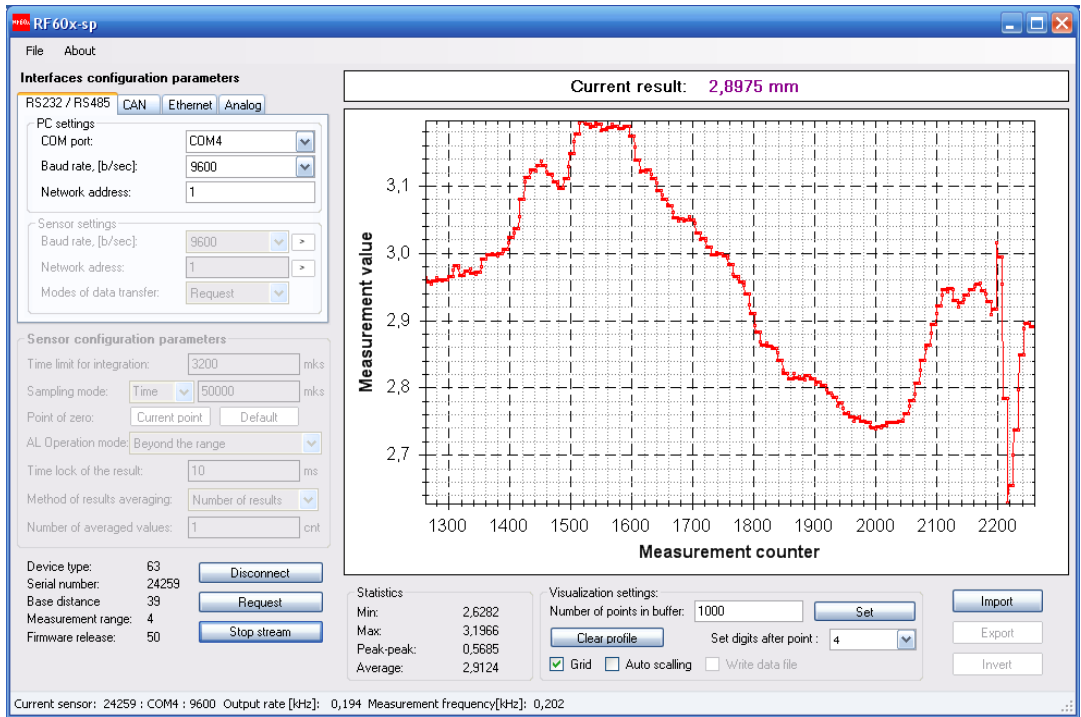


Рис. 3.38. Результати вимірювань зразка №1

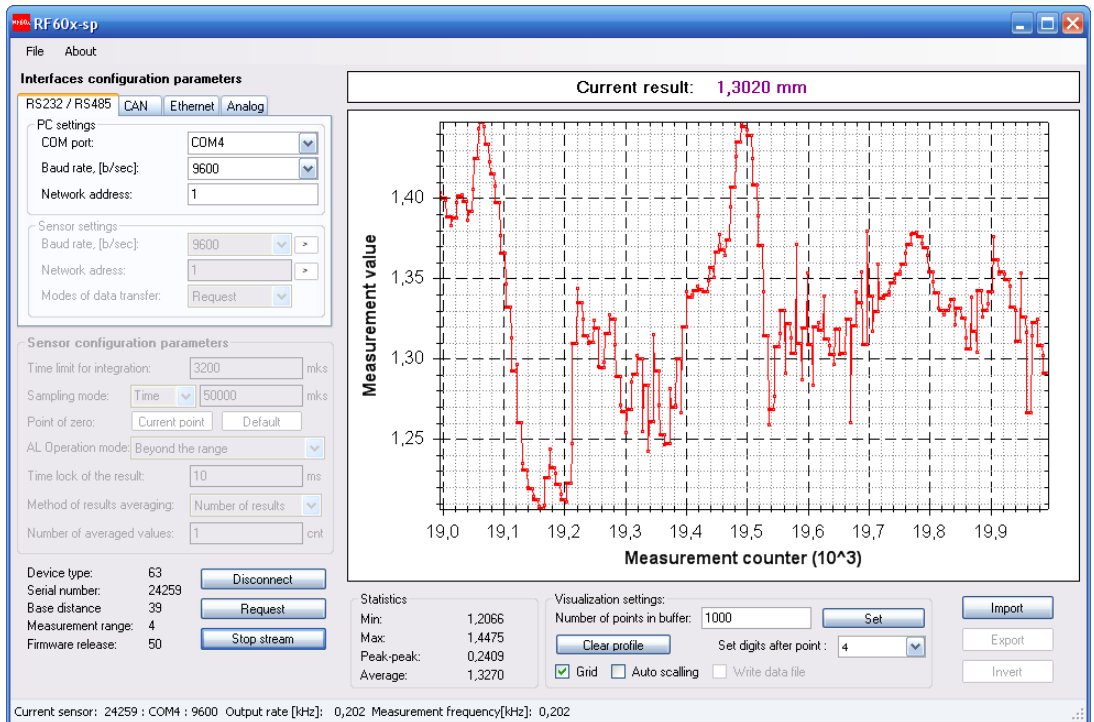


Рис. 3.39. Результати вимірювань зразка №2

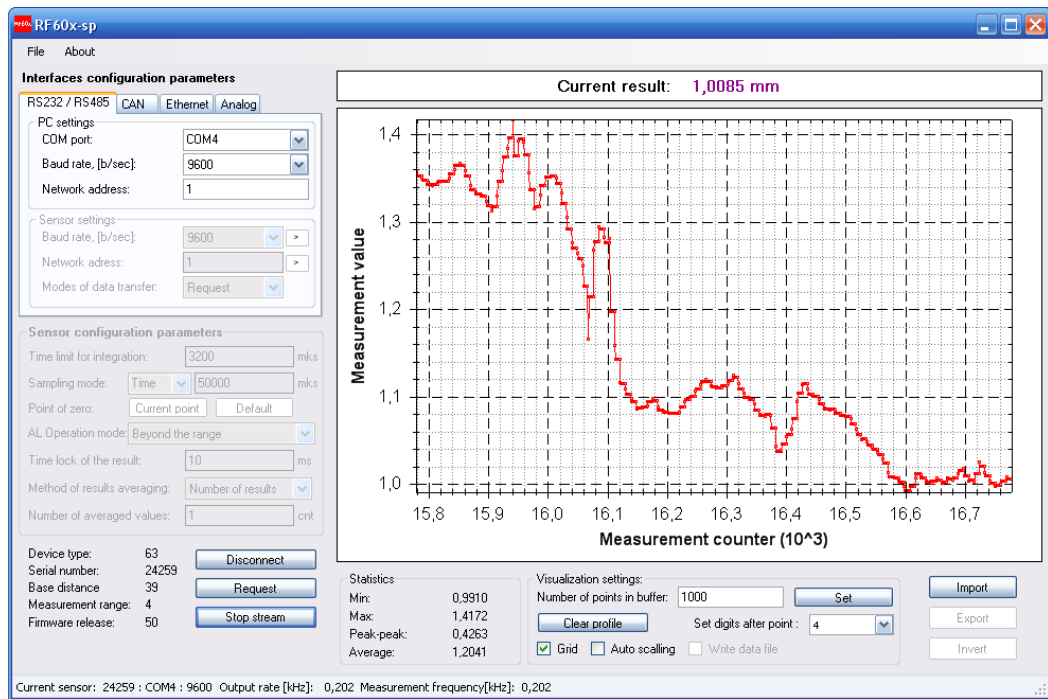


Рис. 3.40. Результати вимірювань зразка №3

Таким чином, нами було проведено налаштування вібраційного датчика і оптимізовано інтерфейс для роботи з напиленими зразками для пасивного захисту. Виходячи з отриманих даних можна сказати, що найкращі характеристики отримані при частоті 0,202 кГц і при періоді від 3 с до 6 с. Отримані результати можна використовувати при налаштуванні тріангуляційних датчиків при дослідженні впливу антилазерних (антивібраційних) властивостей скла різних марок або хімічного складу на довжині хвилі 660 нм.

Висновки до розділу 3

Проведені експериментальні дослідження впливу елементного складу листового скла на коефіцієнти відбивання та поглинання зондуючого випромінювання та отримані результати показують, що коефіцієнти відбивання та поглинання змінюється відповідно до зміни хімічного складу досліджуваного скла, що дає можливість прогнозувати властивості та моделювати хімічний склад скла із заданими захисними властивостями.

В результаті дослідження зміни захисних властивостей скла на основі використання діелектричних плівок діоксиду гафнію, встановлено, що коефіцієнт відбивання скла з напиленою плівкою значно вищий в порівнянні із чистим склом, що ускладнює або робить неможливим зняття інформації оптичним методом.

Проведений аналіз впливу фізико-хімічних властивостей напівпровідникової плівки ВаCuTeF на захисні властивості скла від ЛСАР показав, що такі плівки можуть бути отримані за допомогою імпульсного лазерного напилення при кімнатній температурі підкладки із подальшим відпалом у атмосфері аргону, що за різних температур відпалу може значно покращити властивості пропускання видимого світла, збільшити потужність відбитого лазерного променя та більшою мірою поглинати потужність лазерного випромінювання у порівнянні з простими металізованими плівками.

В результаті дослідження впливу полімерних плівкових матеріалів на захисні характеристики віконного скла, встановлено, що захисні плівки на основі поліестеру покращують прозорість скла і зменшують коефіцієнт відбивання. Тому плівка SMC 12, нанесена на зразки скла Saint-Gobain та Guardian товщиною 6 мм, не рекомендована для захисту скла від ЛСАР.

В процесі дослідження коефіцієнтів пропускання, відбивання та поглинання для різних зразків скла в залежності від кута нахилу зразка та його розміщення, проведена оцінка та вибір оптимального кута нахилу та розміщення зразка у склопакеті. В результаті встановлено, що одним з найкращих виробників скла за даними розрахунків можна вважати Pilkington та Saint-Gobain, розміщеними під певним кутом.

В процесі дослідження оптимізації параметрів лазерного датчика вібрації для протидії лазерним системам розвідки було проведено налаштування вібраційного датчика і оптимізовано інтерфейс для роботи з напиленими зразками для пасивного захисту. Отримані результати можуть використовуватися при налаштуванні триангуляційних датчиків при дослідженні впливу антилазерних (антивібраційних) властивостей скла різних марок або хімічного складу на довжині хвилі 660 нм.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СКЛА ДЛЯ ЗАХИСТУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ

4.1. Моделювання закономірностей зміни захисних властивостей скла в залежності від його елементного складу

Будова скла вимагає опису двох аспектів – геометричного (взаємне розташування атомів або іонів у склі) та електронного (характер хімічних зв'язків між атомними або іонними частинками скла).

Дослідження рентгенофлуоресцентним методом елементного складу віконного скла та дослідження коефіцієнтів відбиття і поглинання зразків скла на експериментальній установці (п. 3.1.) показали, що досліджувані віконні скла за хімічним складом відносяться до кварцових (силікатних), а всі хімічні елементи, які беруть участь у будові цих зразків скла, розташовуються в періодичній системі хімічних елементів у 3,4,5,6 періодах і в межах I, II, III, IV, V, VI груп.

Відповідно, якщо розглядати склад віконного скла, то всі хімічні елементи, які беруть участь у його утворенні, можна розділити на 3 групи: склоутворюючі оксиди кремнію (SiO_2), бору (B_2O_3), фосфору (P_2O_5), титану (TiO_2), які утворюють кристалічний каркас, перехідні (сполуки на основі Fe, Ti, Mn, Ag, Co, Cu, Sb), модифікатори (оксиди лужних і лужноземельних металів: Na_2O , K_2O , Li_2O , MgO , CaO , BaO , що визначають фізико-хімічні властивості скломаси, впливають на оптичні властивості досліджуваних зразків скла, оскільки використані елементи мають різні не тільки якісні, але й кількісні параметри.

Склоутворювачі. Оксиди, що утворюють зразки скла при охолодженні їхніх розплавів, називають склоутворюючими або сіткоюутворюючими оксидами, бо вони здатні створювати безперервні тривимірні хаотичні сітки. Як відомо, кварцове скло складається з безперервної і безладної просторової сітки, що утворюється тетраедрами $[\text{SiO}_4]^{4-}$, які з'єднуються кисневими іонами. Структурний елемент є такий же тетраедр, як і в кристалічному кремнеземі (рис. 4.1) [43].

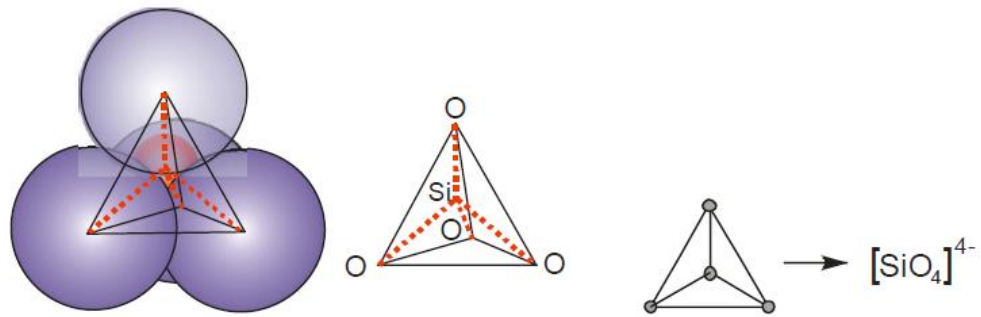


Рис. 4.1. Структурний елемент скла

Як відомо, структура скла містить дві основні складові:

- набір іонів матеріального складу скла, що є іонним ресурсом структури;
- набір хімічних зв'язків, що реалізуються в склі в процесі склоутворення і зв'язують іонний ресурс у тверде тіло [43].

Модифікатори. Дія цих оксидів зводиться до розпушення сітки скла, а самі вони не здатні створювати суцільну сітку. Більш складні скла, наприклад ті, що містять лужні або лужноземельні метали, зазнають істотної зміни структури. Введення катіона металу супроводжується введенням еквівалентної кількості кисневих іонів, а це сприяє розриву місткових зв'язків (Рис. 4.2.) [43]:

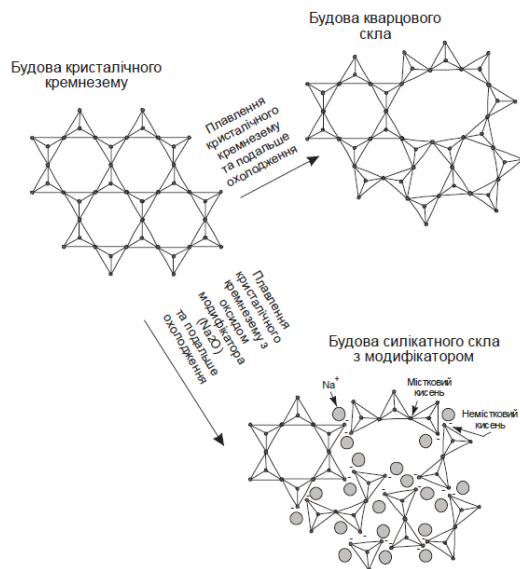
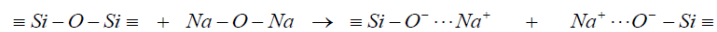


Рис. 4.2. Ілюстрація моделі Захаріасена

Катіони металів розташовуються в порожнинах між тетраедрами так, щоб статистично урівноважити негативні заряди, які з'являються на кисневих іонах. Катіони, що вводяться у вигляді оксидів, призводять до хімічної деполімеризації

безперервної тривимірної сітки кварцового скла, яка фрагментується та рветься. Щоб сітка була більш стабільною, бажано, щоб іони-модифікатори були великих розмірів з малим зарядом. Введенням іонів-модифікаторів структура розпушується, а уламки решітки, що утворилися, мають більшу рухливість.

Залежно від вмісту Me_2O , силікатні системи характеризуються монотонною зміною багатьох властивостей. Зі збільшенням вмісту лугу в подвійних системах $\text{Me}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ монотонно зменшуються в'язкість, хімічна стійкість і електричний опір, а діелектричні втрати і коефіцієнт самодифузії іона Me^+ зростають. За правилом радіуса, вплив оксидів лужних металів на властивості скла у багатьох випадках можна пов'язати з радіусом іонів Me^+ [22].

В ряді лужних металів від Li до Cs спостерігається значне збільшення розміру їх іонів. Оскільки ці іони займають порожнини між структурними тетраедрами, розмір цих іонів впливає на структуру скла і опосередковано також на деякі його властивості, підтверджуючи наші припущення.

Якщо до будь-якого оксиду-склоутворювача додавати лужні іони, це викликає збільшення щільності системи. Додавання натрію зменшує молярний об'єм, що викликає стискання структурної сітки. Навпаки, калій, рубідій і цезій збільшують молярний об'єм скла. В результаті великі іони цезію можуть збільшити вільний об'єм структурної сітки, а маленькі іони літію з великою силою поля, зменшують її.

Властивості, обумовлені міграцією лужних іонів Me^+ , такі як дифузійна рухливість, електропровідність, діелектричні втрати, повинні залежати від розміру іонів. Чим більший розмір іона, тим важче протікає дифузія, слабша провідність і менші діелектричні втрати. Цей висновок дійсний, переважно, для середніх концентрацій лугів (15...25 %). Від радіуса іонів Me^+ чітко залежить і схильність систем $\text{Me}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ до кристалізації. Спостерігається зниження кристалізаційної здатності разом із збільшенням іонного радіуса доданого до скла компонента. Наприклад, відомо, що літєві скла мають високу кристалізаційну здатність, а калієві — низьку. Відповідно до правила радіуса поверхневий натяг розплавів

подвійних силікатних систем еквімолекулярного складу різко зменшується зі збільшенням радіуса лужного іона [43].

З ростом вмісту лужного оксиду збільшуються показники заломлення лужно-силікатних стекел. Поляризація катіона збільшується зі зменшенням сили поля іонів, тому скла, що містять калій, мають більш високий показник заломлення, ніж скла, що містять натрій.

Встановлені закономірності можуть різко змінитися при переході до зразків скла, що містять іони двох або трьох лужних металів одночасно. В'язкість розплавів, що містять суміш двох чи більше лужних оксидів, менша, ніж в'язкість розплавів, що містять окремі лужні оксиди в тих самих молярних концентраціях. Це так званий полілужний ефект. На відміну від наведених вище міркувань про вплив радіуса катіонів на їхню рухливість, коефіцієнт дифузії натрію в калієво-силікатному склі є меншим за коефіцієнт дифузії калію в цьому ж склі. У цьому випадку великий іон K^+ рухається швидше, ніж іон Na^+ , що має менший радіус. Таким чином, лужні іони одного типу мають значний гальмівний вплив на рух лужних іонів іншого типу.

Лужноземельні оксиди, такі як MgO , CaO та BaO , також діють як модифікуючі оксиди: катіони металів займають проміжки, а іони кисню проникають у склад скла та утворюють зв'язки з іонами складової сітки (тобто кремнієм). Для двовалентних катіонів (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+}) один катіон повинен відповідати одній парі незв'язаних іонів кисню, тоді як для одновалентних катіонів (Li^+ , Na^+ , K^+) на кожну пару незв'язаних іонів кисню припадає два катіони [22].

Беручи до уваги приведені вище положення [22, 43], нами встановлено, що поглинання збільшується, якщо зменшується кількість хімічних елементів, які проявляють амфотерні та неметалічні властивості та мають (-заряд), і збільшується, якщо в складі скла зростає кількість хімічних елементів, які проявляють максимально лужні, лужноземельні властивості і в яких збільшується радіус катіонів (+іонів).

Свинець (Pb), як домішка, що відноситься до важких металів, призводить до збільшення коефіцієнту відбиття, імовірно через зміну густини (щільності).

Рідкоземельні елементи, такі як Ba, La – незважаючи на іонні радіуси, зменшують відбиття.

Систематизація елементного і кількісного складу досліджуваного віконного скла відповідно до періодів і груп періодичної таблиці хімічних елементів (п. 3.1.), дала можливість побачити залежність між електронною будовою хімічних елементів та захисними властивостями скла. Такі дослідження дають можливість моделювати склад та прогнозувати захисні властивості скла.

Під час нашого дослідження були виявлені певні обмеження, які можуть незначно вплинути на отримані результати. Ці обмеження стосуються того, що не можна вважати скло таким однорідним у субмікроскопічному масштабі, як це передбачає теорія неупорядкованої решітки. Мікрообласті не мають поверхонь поділу фаз. Вони є складовою частиною складної однофазної склосилікатної структури, але концентрація модифікуючих компонентів у них вище або нижче середньостатистичного.

Порай-Кошиц Є.О. у 1951 р. запропонував розрізнити фізичну (структурну) і хімічну неоднорідність (мікрогетерогенність). Фізична (структурна) неоднорідність означає наявність у склі зон з аморфною і кристалічною структурою. Хімічний склад у всій масі однаковий, але структура різна. Однокомпонентні скла можуть мати тільки структурну неоднорідність. У двох- і багатокомпонентних склах на мікрорівні може не спостерігатися сталість хімічного складу в просторі, тобто склад стає функцією просторової координати. У такому випадку може мати місце хімічна неоднорідність. На рис. 4.3. умовно показані обидва види мікрогетерогенності для однокомпонентного та двокомпонентного скла [43].

Таким чином, за різних умов, що не змінюють його хімічний склад, скло може суттєво змінювати свої властивості. Це вказує на те, що матеріальний набір іонів, з яких складається скло, не визначає його властивості, а лише безпосередньо впливає на них. Структура силікатного скла змінюється залежно від вмісту багатозарядних іонів, а також катіонів лужних і лужноземельних елементів, що відбивається на їх властивостях при високій температурі і високому тиску.

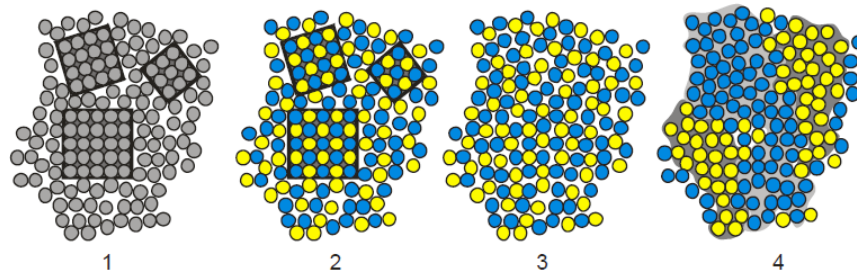


Рис. 4.3. Фізична і хімічна мікрогетерогенність скла:

- 1 - фізична (структурна) мікрогетерогенність у простому однокомпонентному склі;
 2 - фізична (структурна) мікрогетерогенність у двокомпонентному склі (теорія Лебедева);
 3 - відсутність мікрогетерогенності у двокомпонентному склі;
 4 - хімічна мікрогетерогенність у двокомпонентному склі (теорія Порай-Кошица).

Проведений якісний та кількісний аналіз досліджуваного віконного скла дав можливість розподілити хімічні елементи відповідно до періодів і груп періодичної системи хімічних елементів. Встановлено, що коефіцієнти відбивання та поглинання змінюються залежно від зміна хімічного складу досліджуваного скла. Це пов'язано з наявністю таких хімічних елементів у складі досліджуваного скла: Rb, Ag, Zn, Cd, Ba, La, Pb, Mn, I та ін., радіуси та електронна структура яких мають значний вплив на захисні властивості досліджуваного скла від лазерних систем акустичної розвідки, а саме зниження коефіцієнта відбиття та збільшення коефіцієнта поглинання. Залежність, на нашу думку, пояснюється електронною будовою атомів хімічних елементів (повнота s-, p-, d-, f-рівнів елементів і відповідних їм радіусів).

Систематизація елементного та кількісного складу досліджуваного віконного скла за періодами та групами періодичної системи хімічних елементів, дала змогу побачити залежність між електронною будовою хімічних елементів і захисними властивостями скла. Такі дослідження дають змогу моделювати компонентний склад і прогнозувати захисні властивості скла. Аналіз наведених фактів дає змогу стверджувати, що отримання певних захисних властивостей залежить від складу скла, нанесених плівкових покриттів, способу їх обробки і стехіометрії та архітектури використання.

4.2. Прогнозування параметрів захисних властивостей скла від ЛСАР в залежності від концентрації основних елементів

В результаті дослідження впливу елементного складу листового скла на коефіцієнти відбивання та поглинання зондуючого випромінювання (п. 3.1. нашого дослідження) та при аналізуванні концентрацій домішок, було виявлено, що вміст таких елементів, як Mg, Na, S, Fe, Ti в зразках скла Saint-Gobain (S4, S6), Lysychansk (L4, L6), Pilkington (P-4) та Guardian (G6) перевищує 0,1%. (рис. 4.4-4.7) [4].

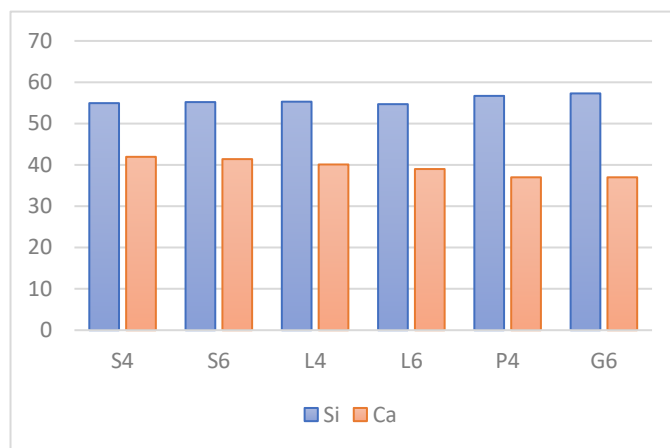


Рис. 4.4. Вміст кремнію (Si), та кальцію (Ca) в досліджуваних зразках скла

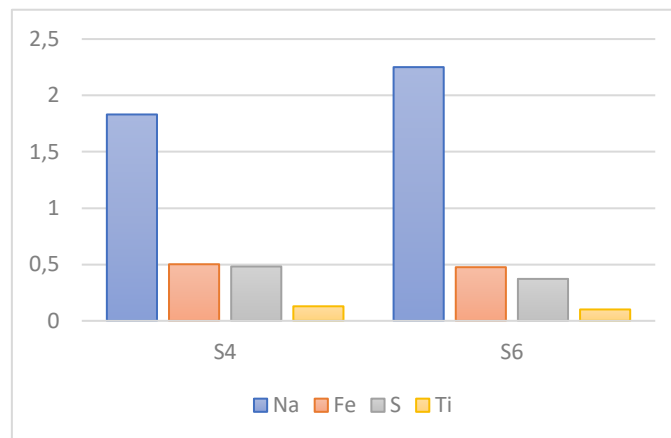


Рис. 4.5. Концентрація домішок в зразках скла виробника Saint-Gobain (S4, S6), кількість яких є більшою за 0,1%

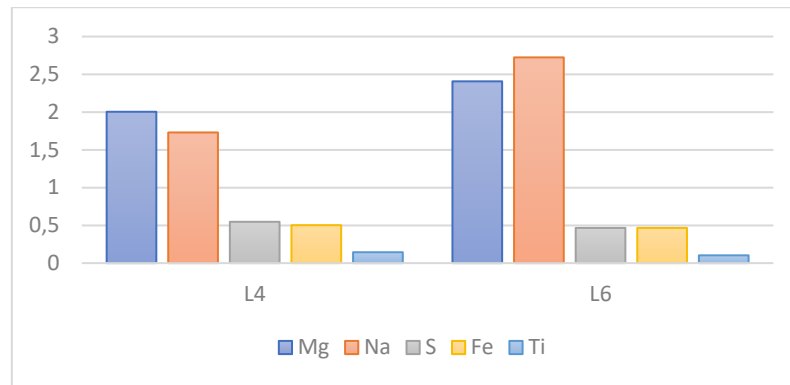


Рис. 4.6. Концентрація домішок в зразках скла Lysychansk, кількість яких є більшою за 0,1%

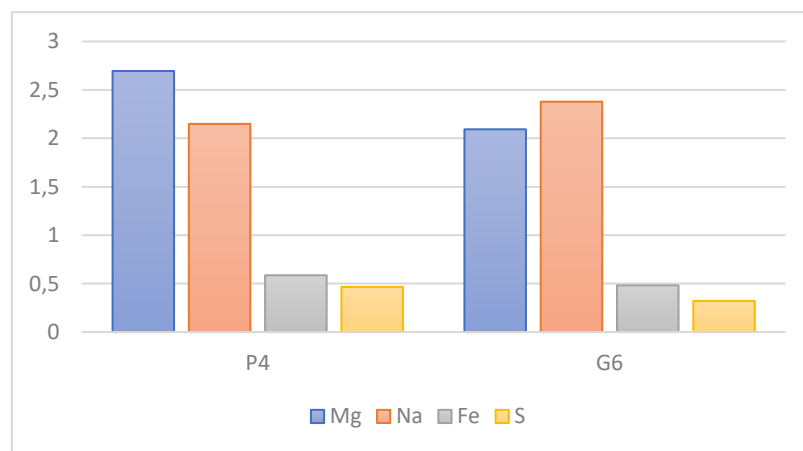


Рис. 4.7. Концентрація домішок в зразках скла виробників Pilkington та Guardian, кількість яких є більшою за 0,1%

У роботі пропонується використовувати метод симплексного планування для таких елементів, як кальцій, натрій і сірка, для моделювання фізико-хімічних властивостей скла [27].

Складені таблиці концентрацій (п. 3.1.) допомогли вибрати елементи для дослідження за відсотковою концентрацією, тобто ті, що становили більше 1% у зразку.

Математичну модель, що описує залежність "склад - властивості" можна представити у вигляді [29]:

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \beta_i * x_i + \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} * x_i * x_j \quad (4.1)$$

де \bar{y} - вектор вихідних змінних стану (функція відгуку) скла;

β_i , β_{ij} - коефіцієнти рівності регресії; x_i , x_j - компонентні фактори досліджуваного зразка отримували по симплекс-решітчатим планам експерименту. Коефіцієнти β_i та β_{ij} виявились лінійними комбінаціями \bar{y}_i та \bar{y}_{ij} , що спостерігаються у точках решітки на симплексі.

Стан компонентів скла підпорядковується умові $x_1 + x_2 + x_3 = 1$. Функцією відгуку являється змінні: y - коефіцієнт відбивання падаючого променя лазера. Аналізували частину діаграми «склад – властивості» в області концентрацій компонентів $(x_1 \ x_2 \ x_3)$, виявленої на основі попередніх двофакторних експериментів, що має наступні значення координат вершин трикутника, мас. %: $z_1 (95,4,1)$; $z_2 (95,5,1)$, $z_3 (95,5,1)$ [83].

Потім був виконаний перехід у нову систему координат, в якій вершини z_1 , z_2 , z_3 , приймались у якості самостійних псевдокоординат, при чому зберігалась умова: $z_1 + z_2 + z_3 = 1$. Матриця експерименту (1-6) з додатковою точкою у центрі плану представлена у таблиці 4.1. Коефіцієнт відбивання ($K_{\text{відб}}$) отримали відповідно до методики [83].

Таблиця 4.1.

Матриця експерименту

№ досліджу	Псевдокомпоненти			Сумішеві чинники			Змінний стан
	1	2	3	Ca	Na	S	$K(\text{відбиван.})$
1	1	0	0	95	4	1	0,073
2	0	1	0	96	3	1	0,078
3	0	0	1	93	6	1	0,061
4	0,5	0,5	0	94	5	1	0,065
5	0,5	0	0,5	95	3	2	0,073
6	0	0,5	0,5	93	6	1	0,061

Після обробки матриці планування було отримано таке рівняння регресії:

$$\bar{y} = 0,0018 z_1 - 0,0007 z_2 - 0,026 z_1 z_2 + 0,048 z_1 z_3 + 0,202 z_2 z_3 \quad (4.2)$$

Перехід до початкових компонентів досліджуваної системи проводили графічно, представляючи поверхню відгуку трьох компонентної системи проєкціями ліній рівних значень на симплексі. Після підстановки у рівність (2) $z_3 = 1 - z_1 - z_2$ переходимо до рівності для двох факторів:

$$\bar{y} = (-0,024) + 0,0258 z_1 + 0,1787 z_2 - 0,048 z_1^2 - 0,202 z_2^2 \quad (4.3)$$

Поверхні відгуку, представлені рівністю (4.3), є поверхнею типу "східний гребінь", тобто не має математичних екстремумів та мінімумів у факторному просторі z_1, z_2, z_3 . Для створення діаграми «склад – властивість» використовувалася програма Microsoft Fortran Power Station v4.0.

На рис. 4.8. представлено діаграму та залежності коефіцієнту відбивання від концентрації кальцію (Ca), натрію (Na) та сірки (S) у досліджуваних зразках скла.

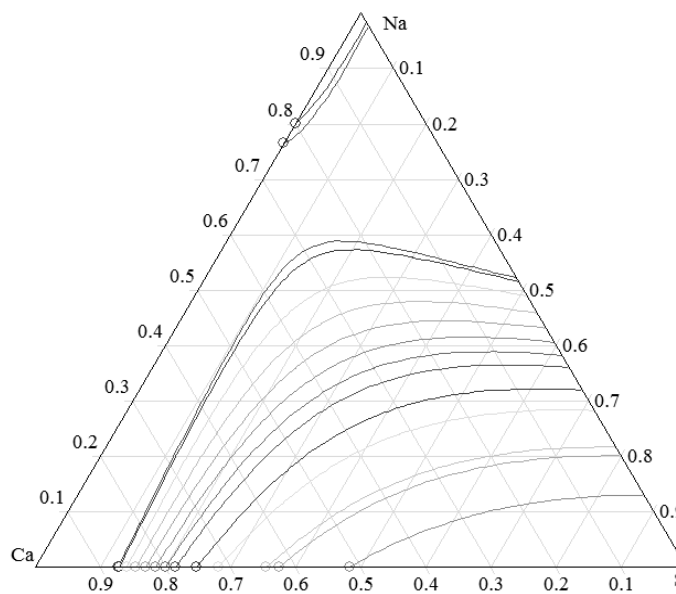


Рис. 4.8. Залежність коефіцієнту відбивання скла від концентрації кальцію(Ca), натрію(Na) та сірки(S)

Провівши аналіз представленої діаграми та графіка, можна зробити висновок, що зменшити коефіцієнт відбивання можна за рахунок зменшення концентрації кальцію(Ca) натрію (Na) у склі.

Дослідивши скло, яке є найбільш розповсюдженим на ринку України, на захищеність від лазерного випромінювання і встановивши його елементний склад,

було виявлено, що коефіцієнт відбивання напряду залежить від концентрації домішок Ca,Na,S та інших елементів.

Величина ступеня зв'язаності силіцій-кисневого каркаса f_{Si} дорівнює відношенню кількості атомів силіцію до кількості кисню. Величина f_{Si} дає змогу сформулювати висновок щодо структури досліджуваних зразків скла.

Відомо [22, 43], що структура кварцового скла являє собою суцільну тривимірну решітку, утворену з кремнієво-кисневих тетраедрів. Коли до скла додають лужні оксиди, ця сітка розривається, і в утворену порожнину вводиться позитивно заряджений катіон. Кількість таких розривів описується функцією f_{Si} . Коли $f_{Si} = 0,5$ розриви теоретично відсутні, а коли $f_{Si} = 0,25$ всі чотири зв'язки навколо тетраедра є розірваними. Коли $f_{Si} = 0,33$ структура скла твориться за допомогою неперервних ланцюгів, а для $f_{Si} = 0,4$ характерною є шарувата двовимірна сітка (Рис. 4.9.) [18].



Рис. 4.9. Залежність відсотка зростання значень температурного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) в інтервалі склування від ступеня зв'язання силіційкисневого каркаса

Як описано у [18, 22, 43], при введенні до складу скла кальцію оксиду, каркас, що утворює скло, зшивається через місток O-Ca-O. Але функція f_{Si} не враховує цю особливість, оскільки двовалентний кальцій переносить 50% кисню, а одновалентний натрій лише 33%. Заміна Na_2O на CaO супроводжується

зменшенням f_{Si} від 0,429 у безкальцієвому склі до 0,413 у склі з 13 мол.% CaO (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Хімічний склад скла, ступінь зв'язання силіцій кисневого каркаса, та відсоток зростання величини ТКЛР в інтервалі склування

Хімічний склад, мол %			Функція f_{Si}	Зростання ТКЛР, %
SiO ₂	Na ₂ O	CaO		
75	12	13	0,413	73
75	14	11	0,415	66
75	15	10	0,417	61
75	25	0	0,429	49

Встановлено, що у випадку трикомпонентного натрій-кальцій-силікатного скла максимальне зростання величини ТКЛР в інтервалі склування спостерігається при значеннях функції $f_{Si} = 0,41-0,42$. Тобто зсувається пік максимального стрибка ТКЛР у бік зменшення ступеня зв'язування силіцій-кисневого каркаса. Це пояснюється тим, що кальцій, як зазначено вище, переносить із собою більшу частку кисню, але виконує у склі зв'язуючу функцію. Тобто в цьому випадку, як і у випадку з двокомпонентним склом, найсуттєвіше збільшення значення ТКЛР відбувається, коли структура скла складається з двовимірних шарів, дещо з'єднаними між собою зв'язками третього виміру. Це можуть бути як зв'язки Si-O-Si, так і зв'язки Si-O-Ca-O-Si.

За допомогою сиплекс-решітчатого методу, описаного нами в п. 2.2.3., можна змоделювати склад скла з певними захисними властивостями, що продемонстровано на прикладі аналізу залежності коефіцієнту відбивання від концентрації трьох складових елементів скла (Ca, Na, S).

Виведена залежність коефіцієнту відбивання від концентрації трьох складових елементів скла (Ca, Na, S) продемонструвала, що коефіцієнт відбивання можна зменшити шляхом зменшення концентрації кальцію (Ca) та натрію (Na) у склі, що позитивно вплине на його захисні властивості від зняття ЛСАР.

Зазначимо, що елементи основної підгрупи VI групи (сірка, селен, телур) мають важливе значення в технології скла і їх називають «халькогенідні скла». У розплавах S і Se містяться кільця і ланцюжки, які, з'єднуючись, формують структуру речовини в скловидному стані. Структурні моделі таких склів побудовані на основі припущення про сильні ковалентні зв'язки між атомами халькогенів. При низькій температурі розплави сірки містять восьми членні кільця, утворені ковалентними зв'язками між сусідніми атомами сірки. Ці ланцюжки утворюють полімерні структури. Тому, в разі зменшення кількості сірки та збільшення кількості кальцію і натрію, можна передбачити збільшення коефіцієнту відбивання.

Отже, зворотна залежність, тобто збільшення коефіцієнту відбивання, дозволяє пов'язати елементний склад скла та його захисні властивості по відношенню до лазерного опромінення.

4.3. Оцінка ефективності застосування захисних плівок

Звичайні металізовані плівки непогано проявили себе у сфері захисту інформації [21, 93, 114], проте ці плівки мали низку недоліків, пов'язаних зі значеннями пропускання видимого світла (12-20%) та значеннями відбиття короткохвильової області ІЧ випромінювання (55-60%). Спираючись на слабкі сторони розглянутих плівок, пропонуємо розглянути вдосконалену структуру захисної плівки.

Розглядаючи в пункті 3.4 нашої роботи попередню плівку оксиду індію та олова слід згадати, що ІТО шар блокує інфрачервоне випромінювання в діапазоні 1400 – 2000 нм і майже не зачіпає потрібний ближній ІЧ діапазон, що робить його неефективним для організації безпеки витоку інформації. Тому, одним з варіантів підвищення результативності захисту мовної інформації від зчитування лазерними системами з використанням запропонованого покриття є застосування плівки ВаCuTeF, відпаленої при температурі 700°C у комбінації з розглянутим раніше шаром, що містить органічні барвники у своєму складі. Цей шар розрахований на

пропускання видимого світла та відбиття ІЧ випромінювання у ближньому інфрачервоному діапазоні. Тобто загальна структура плівки виглядатиме подібно як на рис. 4.10, проте замість шару оксиду індію та олова буде встановлено плівку ВаCuTeF [10].

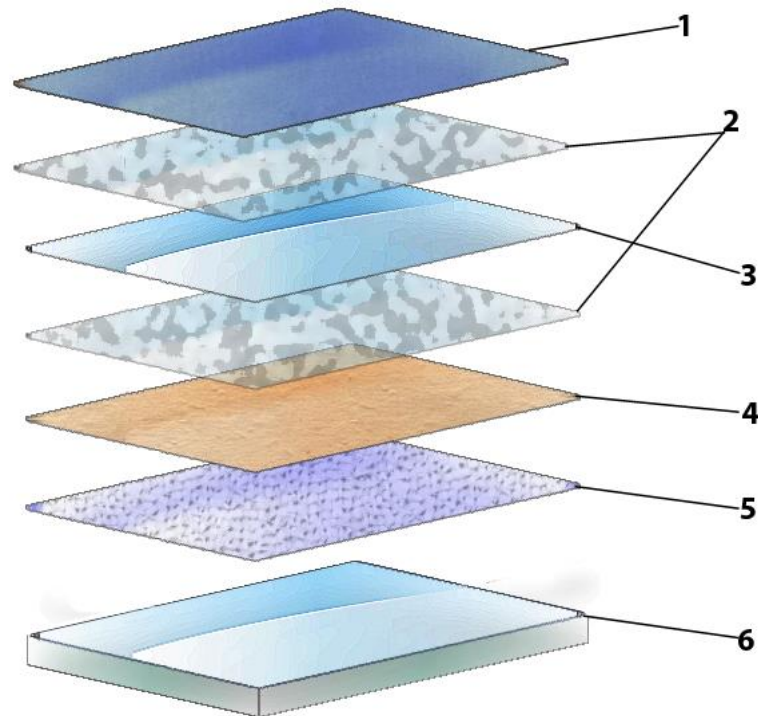


Рис 4.10. Структура запропонованої захисної плівки на скло

1 – плівка ВаCuTeF, 2 – прозорий ламінуючий адгезив, 3 – плівка-підкладка, 4 – шар, що містить органічні барвники, 5 – чутливий до притискання клей, 6- скло.

Високі коефіцієнти відбиття ІЧ-випромінювання шару з органічними барвниками свідчать про те, що не виключається також використання ВаCuTeF, відпаленої при температурі 300–500 °С. Після визначення цілей і необхідного рівня захисту можна використовувати комбінацію більш прозорих плівок ВаCuTeF і шару з барвниками, тим самим значно підвищуючи коефіцієнт пропускання видимого світла в приміщення. Якщо потрібне зменшення пропускання, також можна пофарбувати плівкову підкладку.

Запропонована комбінація шарів може істотно ускладнити зчитування мовної інформації системами лазерно-акустичної розвідки. Крім того, плівки

BaCuTeF вважаються напівпровідниками р-типу, властивості яких у майбутньому можна буде використовувати в сучасній електроніці.

Проведені дослідження та оцінка ефективності застосування захисної напівпровідникової плівки BaCuTeF, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Встановлення захисної плівки BaCuTeF у поєднанні з шаром барвника з високою відбивною здатністю на зовнішньому віконному склі будівлі знижує або повністю виключає ефективність лазерних засобів перехоплення голосової інформації, в основному через різке падіння потужності відбитого або поглиненого сигналу зовнішнім шаром скла з плівковим покриттям. Їх застосування потребує використання значно потужніших лазерів у підслуховуючих пристроях, що виключає приховану роботу таких пристроїв.

2. Прозорість за допомогою лазера з довжиною хвилі 658 нм для плівок BaCuTeF, відпалених при температурах нижче 600 °С, становить від 65 до 70%. Для плівок, відпалених при температурах вищих 600 °С, прозорість нижча і знаходиться в межах 45-60% [10].

3. За захисним призначенням можливе додаткове зниження світлопроникності шляхом фарбування плівкової підкладки. Низький коефіцієнт пропускання видимого світла робить малоімовірним (практично неможливим) візуально-оптичне дослідження приміщень, у тому числі моніторинг інформації на екранах ПК через вікна з наклеєними плівками вдень і ввечері.

4. Досліджувані плівки BaCuTeF є напівпровідниками з шириною забороненої зони 2,9 еВ, які в майбутньому можуть бути використані в сучасній електроніці.

Для побудови більш комплексного рішення захисту приміщення в роботі розглянуте спеціальне звукоізолююче скло, вібрації під впливом акустичного сигналу якого зменшені за рахунок використання спеціальної плівки між шибками скла. Використання представленої технології виготовлення вікон у поєднанні з захисними плівками дозволить отримати більш надійний та стійкий до витoku захист мовної інформації у приміщенні.

Проведене нами дослідження зміни захисних властивостей скла на основі використання діелектричних плівок діоксиду гафнію (п. 3.3.), дає підстави стверджувати, що напилена плівка HfO_2 дозволить збільшити відбивання віконного скла з 4% до 15-18% в діапазоні довжин хвиль 300 - 350, 500 - 700 та 1000 - 1500 нм.

Рекомендується використовувати напилення діоксиду гафнію на скло для збільшення коефіцієнта відбиття та розсіювання, як захист від лазерного зондування та зчитування інформації у вищевказаних діапазонах з наступних причин:

По-перше, напилення таким елементом як діоксид гафнію є досить простим завданням, коли необхідно захистити віконне скло від зчитування засобами ЛСАР, звичайно ж, якщо мати відповідну апаратуру, оскільки такий елемент гарно напилюється як на віконне скло, так і на тонкі прозорі плівки, не зважаючи на різних виробників скла та плівок, їх першочергових характеристик та завдань.

По-друге, оскільки сполука гафнію та кисню є неорганічною сполукою, вони не мають вуглеводної структури, тому є простими речовинами і досить добре лягають одна на одну.

По-третє, діоксид гафнію є абсолютно безколірним та абсолютно не розчиняється у воді і навіть витримує досить високі температури, що робить його не тільки витривалим, а і довговічним напилювачем. Напилення саме цим елементом забезпечить довговічність, міцність, захист від високих температур і найголовніше, забезпечить абсолютну прозорість віконного скла без будь-яких, навіть найменших натяків на те, що на склі можливо щось нанесено. Тобто, неозброєним оком потенційний ворог не відрізнити скло, захищене діоксидом гафнію, від звичайного віконного. Швидше за все, зловмисник може здійснити атаку на таке віконне скло за допомогою ЛСАР, але не отримає результатів, на які очікував перед спробою атаки.

По-четверте, діоксид гафнію застосовується як просвітлювальне покриття на оптичних деталях. Отже, цей напилювач не тільки не робить скло тьмяним, знебарвленим, менш прозорим і помітним, але навпаки, завдяки своїм

просвітлюючим властивостям, підвищує його прозорість і природний блиск. В даному випадку це означає, що потрапляння прямих сонячних променів в приміщення може стати в рази кращим, при цьому скло цього приміщення зовні виглядає абсолютно нормальним для людського ока і, що найголовніше, значно підвищує захисні властивості від ЛСАР.

По-п'яте таке напилення, неважливо чи це плівкове напилення, чи безпосереднє напилення на скло, є значно дешевшим засобом захисту від перехоплення мовної інформації будь-якими сучасними методами, що здійснюються не з приміщення, оскільки затрати на виготовлення та нанесення таких покриттів є значно меншими, ніж затрати на розробки та виробництво будь-яких активних засобів захисту.

Дослідження впливу полімерних плівкових матеріалів на захисні характеристики віконного скла, що описано в п. 3.5. роботи, проводилось на прикладі найбільш популярних зразків скла ринку України: Saint-Gobain Diamant 6мм та Guardian float Guard 6мм.

В результаті було встановлено, що вміст домішок в обох зразках скла майже однаковий. Відмінність цих зразків лише в тому, що в складі скла Guardian є елемент Mg, який міг би впливати на захисні характеристики самого скла.

В результаті спектрального аналізу встановлено, що скло Guardian має трохи кращі властивості відбиття в діапазоні частот від 900 до 2500 нм, але його пропускна здатність перевищує показник скла Saint-Gobain на 1% в діапазоні частот від 660 до 2600 нм. Це означає, що Mg, при вмісті в склі 2,093%, трохи покращує захисний ефект на 0,5% в діапазоні від 900 до 2500 нм.

Для захисту скла від дії ЛСАР була випробувана плівка SMC 12 (п. 3.5.). Дослідження показало, що скло Saint-Gobain із захисною плівкою SMC 12 не годиться для захисту від дії ЛСАР тому, що коефіцієнт пропускання в діапазоні частот від 550 до 2200нм значно збільшується, а сучасні лазерні системи працюють в діапазоні 700 - 1800нм. Також в зазначеному діапазоні, плівка не покращує і характеристики скла Guardian, а навіть трохи погіршує в діапазоні частот від 300 до 1800 нм.

В результаті дослідження можна сказати, що захисні плівки на основі поліестеру погіршують прозорість скла і збільшують коефіцієнт відбивання. Підвищення захищеності скла від ЛСАР можливе за допомогою полімерних покриттів, напилених на скло.

4.4. Практичні рекомендації щодо встановлення захисних плівок на вікна

Скло характеризується низкою оптичних властивостей. Суть ефекту світлорозсіювання полягає в тому, що при проходженні через скло світлового променя, на межі двох середовищ виникають явища відбиття, поглинання, пропускання і розсіювання світла. Згідно із законом збереження енергії, сума коефіцієнтів відбиття, поглинання, пропускання та розсіювання світла дорівнює одиниці.

Відбивання – це повернення об'єктом світла без зміни довжини його хвилі. Важливим параметром, який описує відбиваючу здатність поверхні речовини є коефіцієнт відбивання ($K_{\text{відб}}$). Кількісно коефіцієнт відбиття дорівнює співвідношенню потоку випромінювання, відбитого тілом ($P_{\text{відб}}$), до потоку, який потрапив на тіло ($P_{\text{вх}}$):

$$K_{\text{відб}} = \frac{P_{\text{відб}}}{P_{\text{вх}}} \quad (4.4)$$

Для більшості видів скла пов'язаний з коефіцієнтом заломлення:

$$k_{\text{відб}} = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 = \left(\frac{1,5-1}{1,5+1} \right)^2 = 0,04 \quad (4.5)$$

Коефіцієнт відбивання характеризується такими властивостями:

- суттєво залежить від кута падіння;
- буває напрямленим, напрямлено-розсіяним, дифузно-розсіяним (рис. 4.11)

[22].

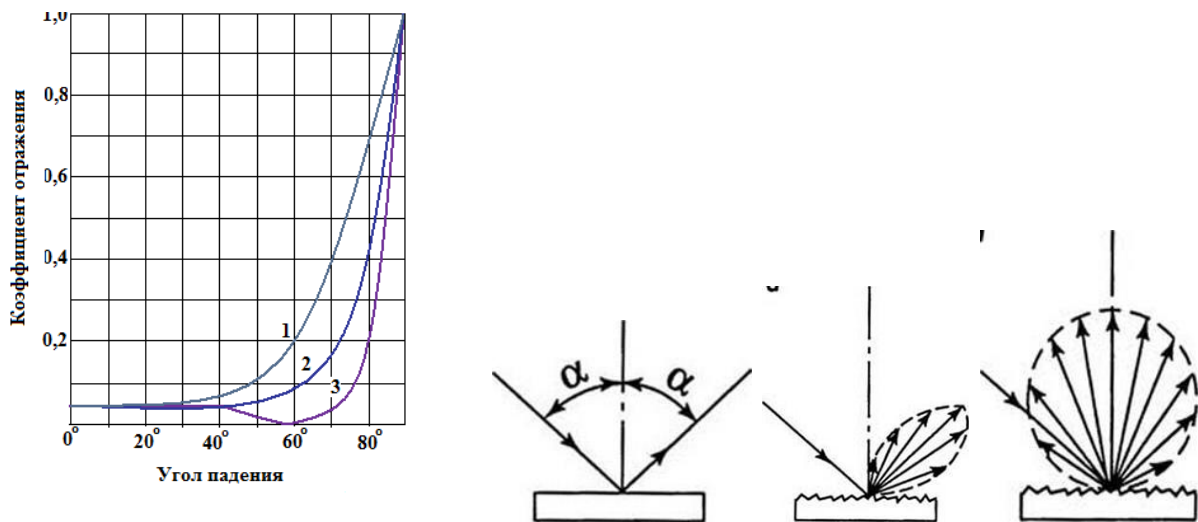


Рис. 4.11. Зображення властивостей скла «відбиття»

Ще одним важливим параметром скла з точки зору світлорозсіювання є пропускання - проходження світла через середовище без зміни його довжини хвилі. Пропускання може бути спрямованим, направлено-розсіяним та рівномірно розсіяним. Коефіцієнт пропускання можна представити, як відношення випромінювання, що пройшло через поверхню ($P_{\text{проп}}$), до випромінювання, що впало на поверхню ($P_{\text{вх}}$).

$$K_{\text{проп}} = \frac{P_{\text{проп}}}{P_{\text{вх}}} \quad (4.6.)$$

Ефективне розташування плівки можливе тільки при комплексному підході до проблеми витоку акустичної інформації.

Ціллю нашої роботи була розробка способу використання плівки на вікна для захисту від зчитування мовної інформації за допомогою ЛСАР. Область використання того чи іншого виду плівок, в основному, спеціально обладнані конференц-зали для проведення переговорів. Тож для отримання повноцінного захисту від витоку інформації оптико-електронним каналом, більш доцільним було би розглянути також будову вікон, які будуть використовуватися під час переговорів, конференцій.

Будова віконного скла має важливу роль для захисту інформації, адже саме будова скла впливає на вібрації, що породжуються під дією акустичного сигналу. Для кращої звукоізоляції та шумопоглинання використовують спеціально

розроблені склопакети, що мають товщину повітряного проміжку між шибками від 6 до 20 мм.

Для організації повноцінного захисту вікно або склопакет має складатися з двох, трьох шибок. Згідно отриманих рекомендацій щодо встановлення захисних плівок, плівка має бути встановлена на внутрішню сторону зовнішнього скла, у разі наявності декількох вікон (зовнішнього, внутрішнього), або інтегрована у склопакет, перед його формуванням, і також встановлена на зовнішнє скло (рис 4.12).

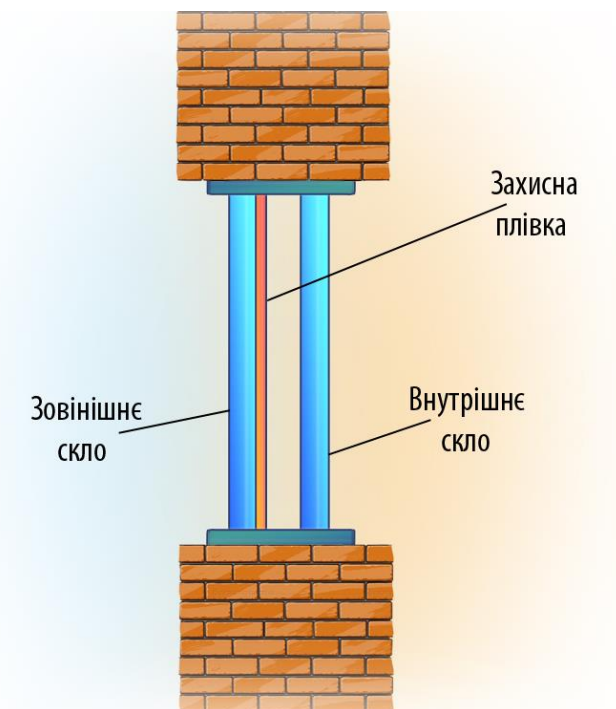


Рис. 4.12. Встановлення захисної плівки на скло

Суть захисту полягає в тому, що відношення сигнал / шум є значно більшим саме на внутрішньому склі і зчитування мовної інформації проводиться з нього. Вібращії викликані мовним сигналом переходять з середовища повітря-скло у середовище скло-повітря і знову у середовище повітря-скло, тому вібращії зовнішнього скла є дійсно незначними. Встановивши захисну плівку на зовнішнє скло інфрачервоне випромінювання лазера буде частково блокуватися і подолати захисний шар першої шибки скла буде набагато складніше.

Для покращення звуко поглинаючих властивостей скла можна розглянути склопакет, що має шар ламінованого скла з внутрішньої сторони (рис 4.13)

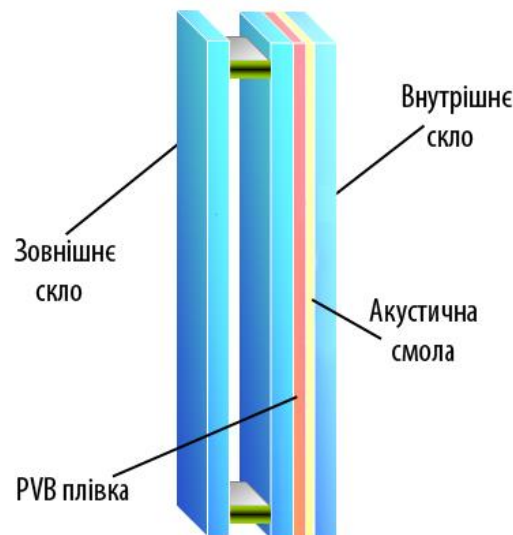


Рис.4.13. Будова звукоізолюючого склопакета з додатковим звукоізолюючим шаром

Наявність триплексу з внутрішньої сторони обумовлено його непоганими звукоізолюючими властивостями. Між шарами встановлюється спеціальна плівка, яка може бути виготовлена з полівінілбутиралу (PVB). PVB плівка володіє непоганою міцністю та здатна значно підвищити ударостійкість скла. Проте звукопоглинаючі властивості наведеної плівки не ідеальні. Для їх підвищення до шару PVB плівки необхідно додати шар спеціальної акустичної смоли, що здатна поглинати акустичні сигнали, які циркулюють у приміщенні. Поєднання цих шарів дозволяє отримати високоякісне скло, що може не тільки протистояти механічним пошкодженням ззовні будівлі, але й здатне зменшити вібрацію внутрішнього скла, що значно ускладнює зчитування інформації лазерними системами.

В результаті комбінації захисної плівки та представленого склопакету отримуємо рішення, що дозволить упевнитися в тому, що розмова в приміщенні є захищеною від витоку оптико-електронним каналом.

4.5. Дослідження впливу частоти звукових коливань на відгук лазерного променя з поширеного в Україні скла

Елементний аналіз скла, найбільш поширеного на ринку України (Lysychansk, 6 мм та Orionglass, 4 мм), було проведено на рентгенофлуоресцентному аналізаторі елементного складу «EXPERT 3L» [33, 54].

Результати вимірювання виявлених у зразках хімічних елементів і відповідних їм масових концентрацій з відносною похибкою визначення 0,01% масової частки, приведені в п. 3.1. нашого дослідження.

Проведені дослідження пропускання випромінювання у лабораторних зразках скла, за допомогою Spectrophotometer «Shimadzu UV-3600» показали кращі властивості щодо пропускання у скла Orionglass 4мм (рис.4.14, 4.15), особливо це видно у діапазоні вимірювання 800-1500нм.

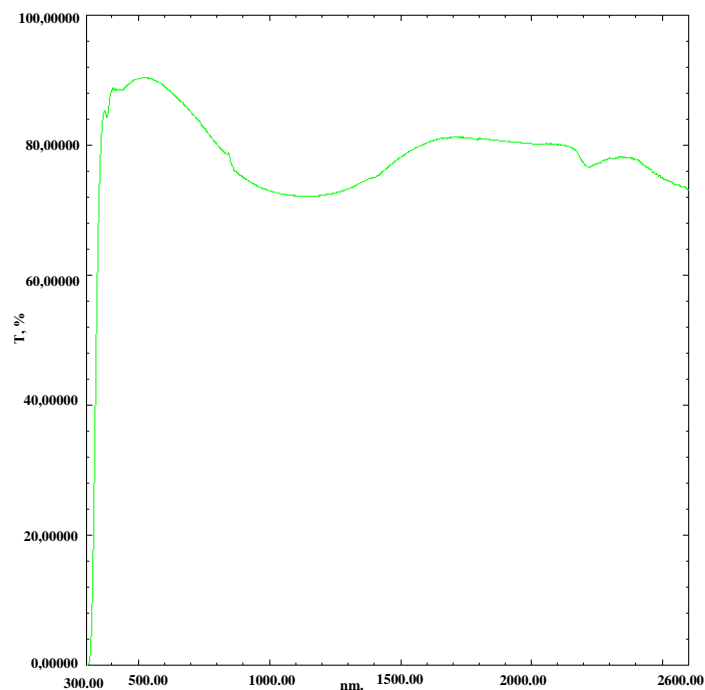


Рис 4.14. Спектрограма пропускання випромінювання у скла Lysychansk 6мм

Проаналізувавши отримані дані, можна сказати, що на якісні характеристики скла впливають: відсотковий вміст Si та Ca, які у зразку Orionglass 4mm є суттєво вищими, ніж у Lysychansk 6 мм; наявність більшого числа домішок у зразку

Лусьчанск 6 мм; наявність компоненту Fe, що при дії випромінювання здійснює вплив на поведінку зразків.

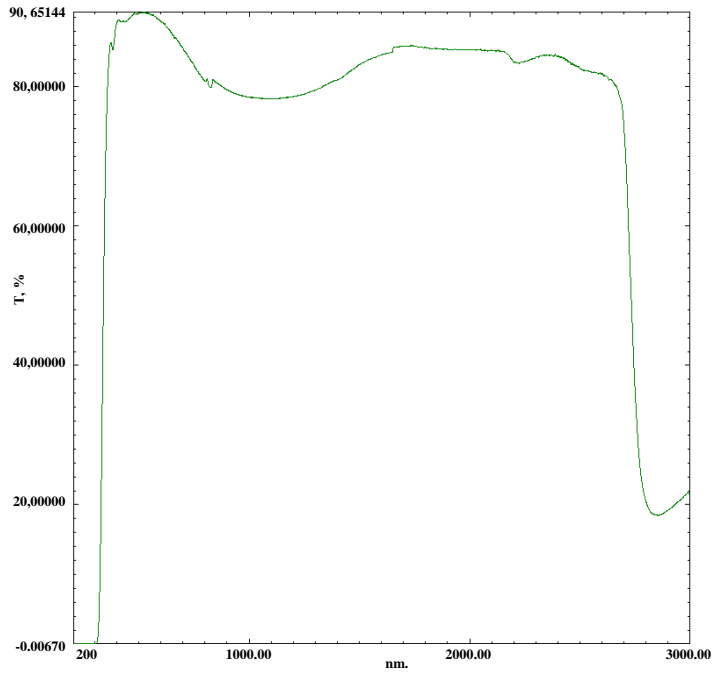


Рис. 4.15. Спектрограма пропускання випромінювання у скла Oringlass 4мм

Далі ми провели дослідження потужності коефіцієнтів відбивання зразків скла при різних частотах вібрації. Ми встановлювали зразок скла на відстані 40см від джерела випромінювання (рис. 4.16).

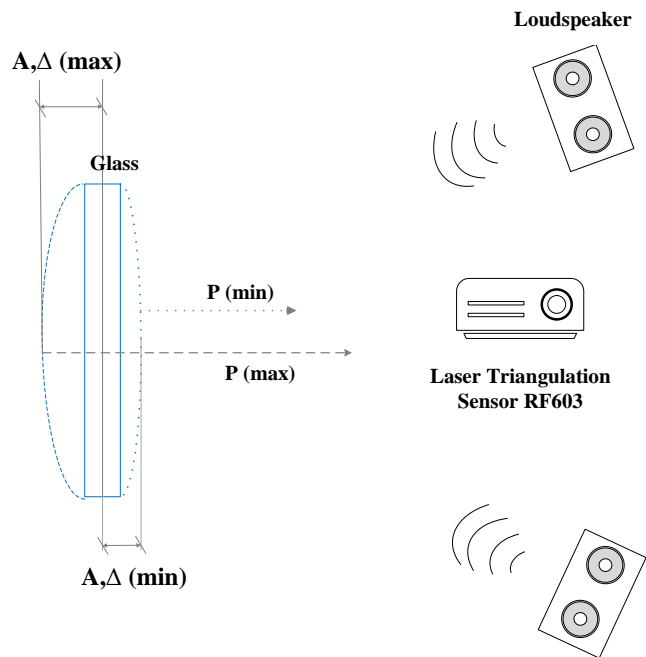


Рис.4.16. Принципова схема вимірювання вібрацій

Тоді направляли лазер на зразок скла і одночасно, за допомогою програми TTG, ми генерували сигнали різної частоти: починаючи з 0Гц – до 20кГц. І вимірювали потужність відбитого лазерного променя [108].

Для створення впливу звукових коливань на скло використовували симулятор звукових сигналів Test Tone Generator (генератор тестових тонів), інтерфейс якого представлений на рис. 4.17 [57, 107]. Сигнали генерували в діапазоні частот 20кГц – 100Гц.

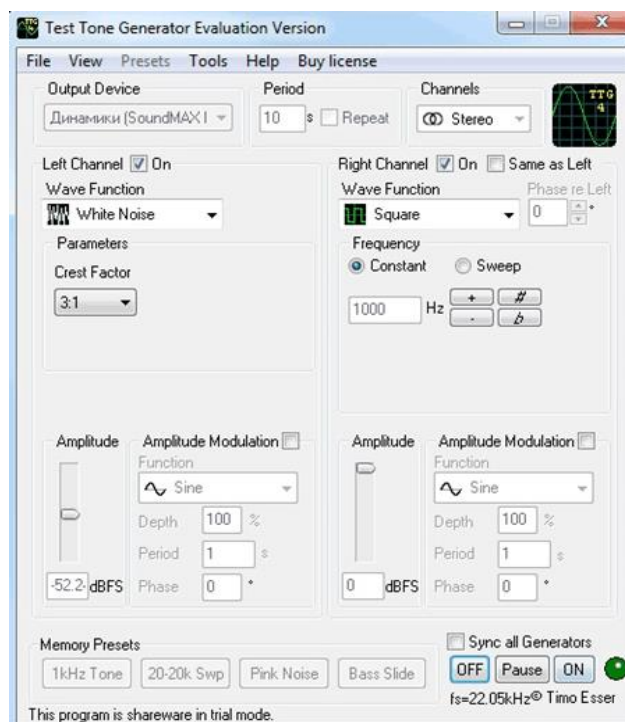


Рис 4.17. Інтерфейс програми Test Tone Generator

Під дією звукового сигналу зразок скла починав вібрувати, тим самим впливаючи на коефіцієнт потужності відбивання. Результати експерименту наведені на рис. 4.18, 4.19 [61].

Як бачимо з рис. 4.18, для скла Lysuchansk, починаючи зі 100Гц і до 8 кГц потужність відбивання є максимальною. А від 8кГц і до 14 кГц потужність відбивання починає різко падати.

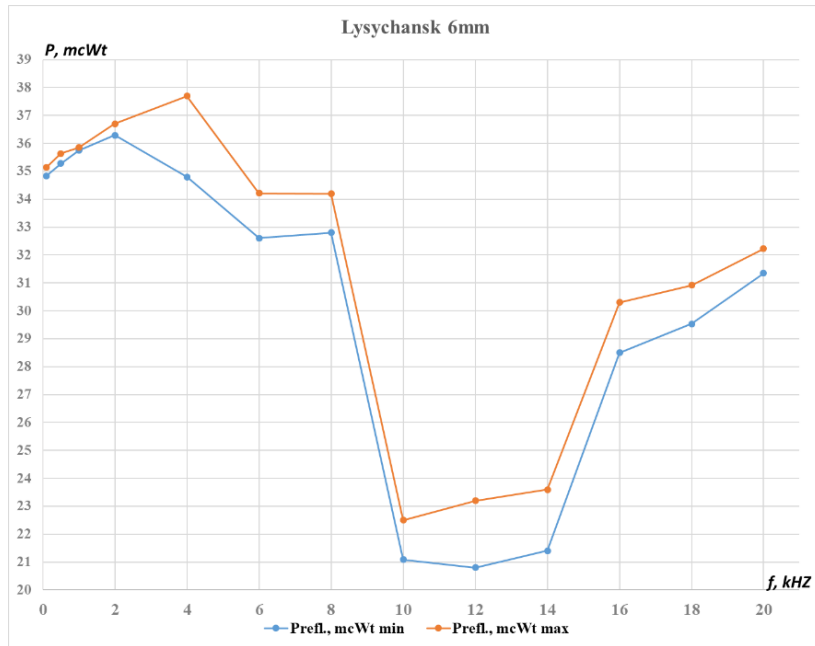


Рис 4.18. Графік залежності $P(f)$ для Lysychansk 6мм

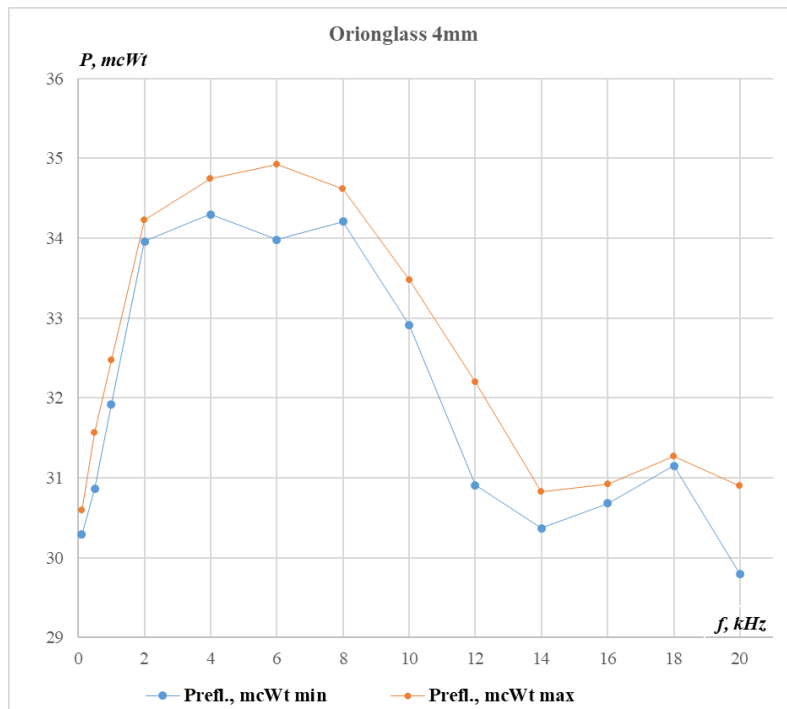


Рис 4.19. Графік залежності $P(f)$ для Orionglass 4мм

Так само з досліджень для скла Orionglass 4мм (Рис. 4.19), можна спостерігати, що починаючи з 2 до 8 кГц потужність відбиття є максимальною, а від 8 до 14 – спадає.

Для визначення залежності максимальної амплітуди коливань віконного скла Δ від частоти f акустичного сигналу в приміщенні, проведено розрахунки в MS Excel, та створено графіки залежності (рис. 4.20) [61].

Використовуючи формулу [112] для розрахунку звукоізоляції вікна $R = 10 \lg(P_1 / P_2)^2$, можна знайти максимальну амплітуду коливань склопакета вікна Δ при заданій частоті звуку f і тиску звукової хвилі в приміщенні P_1 .

$$\Delta = \frac{P_1}{2\pi frc \times 10^{20}} \quad (4.7)$$

де для нормальних атмосферних умов $rc = 420 \text{ Н} \cdot \text{С} / \text{м}^3$

Під час розмови достатній діапазон частоти f знаходиться в межах від 100 Гц до 12 кГц. Значення звукоізоляції сучасного євровікна приймаємо приблизно 40 дБ.

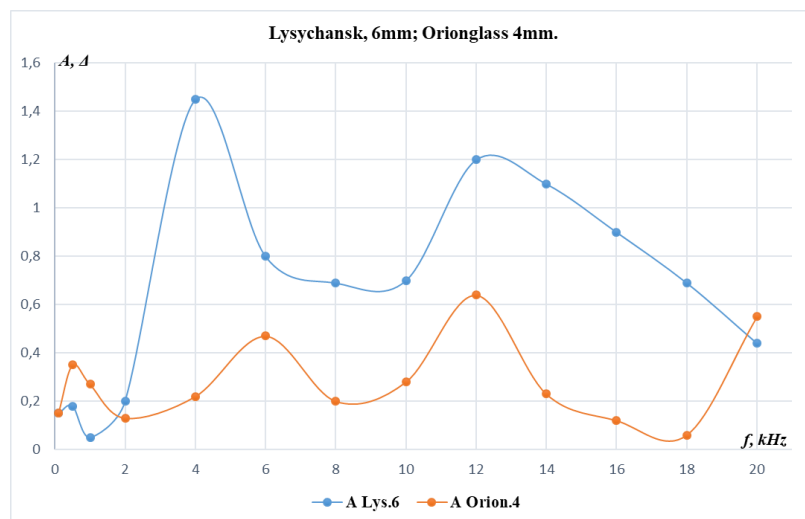


Рис. 4.20. Графік залежності максимальної амплітуди коливання віконного скла Δ від частоти акустичного сигналу f

З графіка видно, якщо в приміщенні відбувається розмова середньої тембрації людського голосу ($f = 5$ кГц), максимальна амплітуда коливання сучасного євровікна зі скла Lysuchansk 6мм Δ дорівнюватиме приблизно 1,5 нм при частоті 4 кілогерца, а в разі низької тембрації людського голосу ($f = 150$ Гц), амплітуда дорівнюватиме 0,75 нм.

Максимальна амплітуда коливання сучасного євровікна зі скла Orionglass 4мм Δ дорівнюватиме приблизно 0,65 нм при частоті 12 кГц (поряд з тим, крім

вказаного максимуму коливання сучасного євровікна зі скла Orionglass 4 мм спостерігається ще 3 піки амплітуд коливання в межах частот від 1 до 20 кГц)

Отже, за отриманими даними, амплітуда коливань скла під дією акустичної хвилі для різних видів скла: Lysychansk 6мм, Orionglass 4мм, під дією акустичної хвилі, знаходиться в межах від 0,65 до 1,5 нм, проте для скла Lysychansk 6мм її показник в середньому в 2 рази вищий, ніж для більш чистішого від домішок скла Orionglass 4мм.

Отже, згідно отриманих результатів легко помітити, що параметр потужності відбивання лазерного сигналу, який є важливим параметром для здійснення перехоплення інформації лазерними системами акустичної розвідки, є високим для обох зразків скла, коли в приміщенні відбувається розмова низької тембрації. Проте при переході на середні і високі частоти, скло з більшими добавками та менш якісними хімічними властивостями (Lysychansk 6мм), має гірші властивості, щодо відбивання лазерного сигналу. Відповідні результати корелюються і з результатами визначення максимальної амплітуди коливання віконного скла, де параметр амплітуди практично в 2 рази вищий у скла Lysychansk 6 мм. Відповідно, параметр амплітуди тотожно впливає на розпізнавання мовного сигналу засобами технічної розвідки, і за умови використання більш чутливих та потужних систем лазерної розвідки (потужність вихідного сигналу буде достатньо високою для відбивання лазерного сигналу від скла), саме властивості цього параметру будуть основними при перехопленні мовного сигналу.

4.6. Пошарова модель багатокомпонентної архітектурно-компонованої структури оптоелектронного каналу витоку інформації

Процес обміну інформацією за допомогою акустичного сигналу ґрунтується на його поширенні в навколишньому середовищі. Відповідно, акустичні сигнали можуть поширюватись у будь-якому середовищі, за винятком вакууму. Саме цей факт обумовлює можливість проходження акустичного сигналу через складові будівельних конструкцій, скло та зняття його ЛСАР.

Структура каналу витоку інформації через скло зображена на рисунку 4.21.

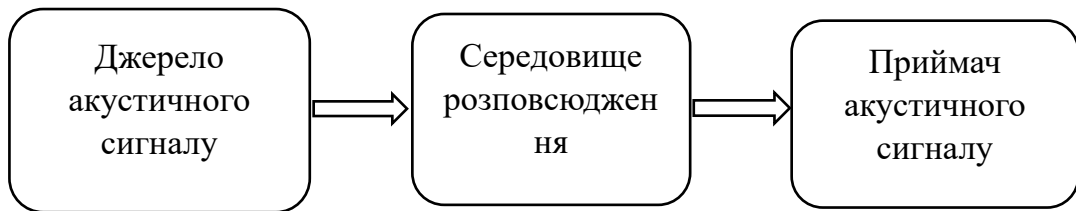


Рис. 4. 21. Структура акустичного каналу витоку інформації

Акустичні канали витоку інформації є одними із найнебезпечніших, де серед усіх видів акустичних сигналів-носіїв значну частину становить мовна інформація, яка отримується у режимі реального часу. Саме тому наше дослідження було направлено на проведення оцінки можливостей протидії лазерним мікрофонам та вивчення способів зменшення можливостей таких засобів за рахунок середовища розповсюдження.

Складений оптоелектронний канал витоку інформації утворюється шляхом знімання інформації лазерним променем в ІЧ-діапазоні (ЛСАР) з плоскої поверхні скла, що коливається під дією акустичної хвилі з інформацією (Рис. 4.22).



Рис. 4.22. Структура оптоелектронного каналу витоку інформації

Таким чином, якщо брати за основу класичну структуру оптоелектронного каналу витоку інформації, то можемо констатувати, що джерелами акустичного сигналу в приміщенні може бути, в першу чергу, сама людина в процесі розмови і відбиті джерела сигналів. У нашому випадку – це віконне скло у відповідному розташуванні, встановленого хімічного складу, з використанням різноманітних напилень і плівок, яке з середовища розповсюдження стає також джерелом вібраційних коливань, тобто в залежності від кількості захисних шарів на склі, воно може послаблювати або посилювати джерела сигналів для зняття ЛСАР.

Разом з тим, на основі проведених експериментів і досліджень, можемо зазначити, що поширення вібрацій відрізняється в залежності від компонування матеріалів перешкоди (скла та ін. огорожувальних об'єктів), якою вони поширюються, та попередньої відповіді на скануючу дію лазерного променя.

Отже, структуру оптоелектронного каналу витоку інформації пропонуємо представити у вигляді пошарової моделі (Рис. 4.23).

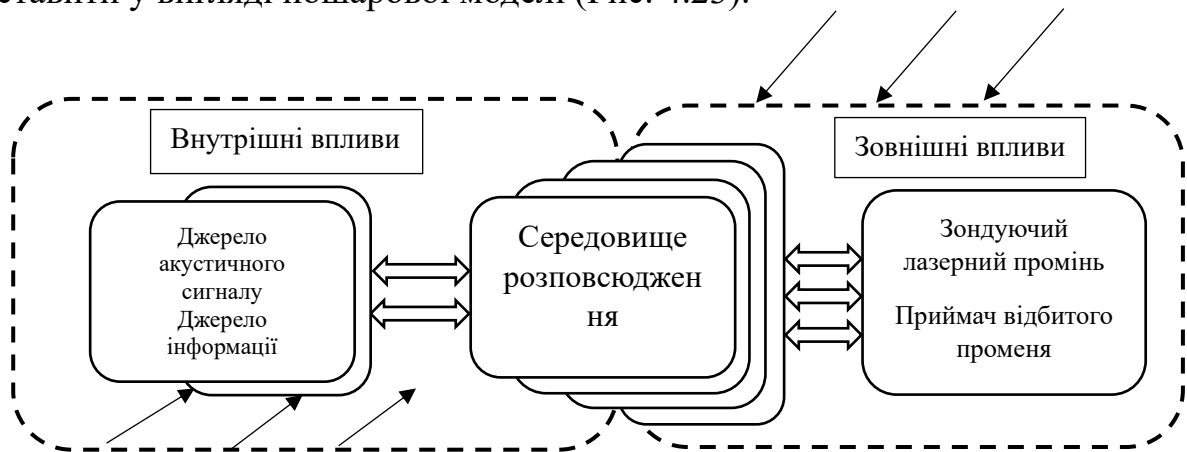


Рис. 4. 23. Пошарова модель багатокомпонентної архітектурно компонованої структури оптоелектронного каналу витоку інформації

Як видно з рисунка, поряд з джерелом вібраційних коливань прямої дії формується також відгук від проходження лазерного променя в середину приміщення і у зворотному напрямку.

Отже, захищеність приміщень від зняття мовної інформації системами лазерної розвідки має достатньо складну залежність і формується компонуванням багатьох взаємопов'язаних величин:

K_1 - якісний коефіцієнт захисту (елементний склад скла);

K_2 - кількісний коефіцієнт захисту (стехіометрія елементів скла);

K_3 – коефіцієнт захисних покриттів (плівки);

K_4 – кутовий коефіцієнт (кут нахилу склопакету);

K_5 – кутовий коефіцієнт (кут падіння лазерного променя);

K_6 – «сендвіч» коефіцієнт (компоування захисних шарів);

K_7 – коефіцієнт технічних характеристик приладів;

K_n – n-ий коефіцієнт захисту.

Математична модель описує мінімізацію втрат інформації через оптоелектронний канал витоку від ЛСАР, що відповідає максимальному ступеню захищеності приміщення. Загальні або сумарні втрати інформації складаються з декількох складових, які пошарово компонуються на вихідному матеріалі (склі). Для кожного гіпотетичного шару існує повна (оптимальна) величина зменшення ризику витоку інформації оптоелектронним каналом від ЛСАР, який відповідає мінімуму. Цей мінімум втрат корелює з реальною чисельною характеристикою $K_{min}^{лсар}$, яка враховує компонування пошарових елементів, їх комбінацію, що беруть участь у вирішенні питання безпеки приміщення. У загальному випадку кінцева множина $K_{min}^{лсар}$ складається з n захисних шарів, тобто:

$$K_{min}^{лсар} = \sum_{i=1}^n K_n \quad (4.8)$$

$K_{min}^{лсар}$ - коефіцієнт мінімальних втрат мовної інформації

K_n – коефіцієнт мінімальних втрат мовної інформації n -м захисним шаром

Можемо припустити, що пошарова модель багатокomпонентної архітектурно компонованої структури оптоелектронного каналу витоку інформації розгортається на рівні агрегатної та комплексної моделі.

Агрегатна модель складної (пошарової) системи буде складатись з окремих підсистем та опису їх взаємодії (за класичною схемою). При вивченні цієї моделі підсистеми представлені окремими рівняннями, що пов'язують вихідні сигнали з вхідними сигналами та з параметрами підсистеми. Агрегатна модель буде подаватись системою цих рівнянь:

$$\begin{cases} K_1 = f_1(x_1, x_2, x_n \dots) \\ K_2 = f_2(x_1, x_2, x_n \dots) \\ K_n = f_n(x_1, x_2, x_n \dots) \end{cases} \quad (4.9)$$

Взаємодія підсистем (скло, напилення, компонування та ін.) полягає в тому, що вихідні сигнали однієї підсистеми є вхідними для іншої і мають однакове позначення в агрегатній моделі.

Вихідні сигнали однієї підсистеми вводяться в іншу і мають однакові назви в агрегатній моделі.

Комплексна (системна) модель розглядає джерело (середовище розповсюдження) в цілому, не розділяючи його на підсистеми і окремі внутрішні процеси. Коефіцієнт захисту можна представити у вигляді:

$$K_{зах} = f K_n \quad (4.10)$$

Разом з тим, комплексна модель при вирішенні конкретних завдань, може теж бути отримана і представлена у вигляді сумарної агрегатної моделі, шляхом зведення системи рівнянь до одного виразу, що пов'язує вхідні і вихідні сигнали системи, методом підстановки, в залежності від компонування складових захисту інформації від витоку оптоелектронним каналом.

Переваги цих підходів полягають в тому, що в залежності від завдань, які стоять перед системою і вихідних характеристик елементів, ми можемо довільно компонувати роботу системи в цілому, з готових компонентів з визначеними параметрами або критеріями і без дослідження внутрішньої структури, опираючись тільки на потрібний результат. Очевидно, що в роботі було використано обидва підходи як для проведення експериментальних досліджень пошарових елементів, так і прогнозування теоретичних можливостей цілої системи захисту мовної інформації від ЛСАР.

4.7. Перспективи застосування плівкових напилень в безпекових технологіях військового призначення

Важливою проблемою протидії лазерним системам розвідки стали військові дії. У військових діях лазерні детектори оптичних систем працюють в інфрачервоному діапазоні і виявляють відбиття зондуючого променя від лінзи прицілу або іншого оптичного приладу. Тому дуже поширеними стали ситуації, коли снайперів на позиціях швидко виявляють портативними лазерними детекторами та завдають ударів традиційними засобами вогневого ураження –

мінометами, гранатометами, великокаліберними кулеметами, ПТУРами тощо. Окрім того в умовах військових дій все частіше використовують пристрої захоплення об'єктів лазерними системами і повітряними системами лазерного сканування для наведення високоточної зброї для знищення військової техніки, БПЛА тощо.

Вже зараз у світовій практиці військових дій, часто застосовують системи виявлення бліків, для визначення позицій снайперів тощо. В Україні проводяться випробовування українського анти снайперського комплексу виробництва СІЧ 5K10 Thermal Vision Technologies, де наявність бліку – виявлена оптика. Для більшого функціоналу розробники також додали можливість визначення координат і відстані об'єкта, який виявляється в складних умовах рельєфу місцевості та міських забудовах. Отже, здійснене нами моделювання параметрів захищеності в залежності від кількісного вмісту елементів у склі, дасть змогу ефективніше вирішувати цю проблему.

Єдиною основною причиною захоплення військових об'єктів лазерними системами і повітряними системами лазерного сканування, наприклад БПЛА, є недостатні коефіцієнти розсіювання і поглинання або збільшенням кутів відбивання лазерного променя корпусу об'єктів, що дозволяє цим системам здійснювати локацію, виявлення, моніторинг та успішні атаки на них. Відповідно для цих цілей, для унеможливлення зчитування мовної інформації зі скла, а також для нівелювання бліку при лазерному наведенні на скло можна розробити спеціалізовані антиблікові, або з великим коефіцієнтом поглинання, плівки та покриття, які б поглинали/розсіювали або збільшували кут заломлення лазерного променя до такого максимуму, що його неможливо було б зафіксувати лазерними системами.

Зрозуміло, що дослідження пов'язані з захисними параметрами скла для протидії лазерним системам, методами підвищення коефіцієнтів розсіювання і поглинання скла, методами збільшення кутів відбивання скла та розробленням спеціалізованих антиблікових плівок або покриттів з великим коефіцієнтом поглинання/кутом відбиття дозволить вирішити поставлені у роботі завдання. Такі

плівки можуть успішно застосовуватись, як механізм протидії системам лазерного виявлення оптичного обладнання спецвійськ, наприклад розвідників і снайперів, які використовують оптику для військових цілей. Крім того дані плівки можуть забезпечити захист БПЛА від виявлення, наведення і здійснення успішної атаки лазерними системами детектування і випалювання [1].

Використання захисних плівок від лазерних систем розвідки дозволяє максимально розвинути ведення військової справи. Напилений на оптичні приціли, біноклі, броньовані вікна БМП та БТР, вікна фюзеляжів винищувачів, гелікоптерів чи транспортних літаків, шоломи пілотів, різноманітні елементи БПЛА, діоксид гафнію може суттєво повпливати на захисні та оптичні властивості даного обладнання та техніки і навіть може змінювати їх оптичні характеристики [1].

На прикладі літаків та БПЛА, з допомогою нанесення плівок даного діоксиду на скляні, чи відбиваючі елементи можна досягти значного прогресу у захисті від лазерних наведень, котрі безпосередньо направлені для засліплення екіпажів, пілотів, камер спостережень, котрі прикріплені на БПЛА, різноманітних датчиків та радарів, котрі ловлять і перетворюють сигнали і знаходяться на обшивках. Також даний вид діоксиду абсолютно не є метеозалежним і спокійно витримує високі температури, котрі можуть досягатися при польоті на великих швидкостях.

Одним із найяскравіших представників летальної лазерної зброї є російський лазерний комплекс «Пересвіт», основним завданням якого є боротьба з повітряними цілями, такими як літаки, безпілотники та БПЛА. Оскільки загальновідомі недоліки даного комплексу, як і будь-якої лазерної зброї, полягають у прямій залежності від погодних умов (туман, дощ, сніг), то його використання все ж можливе за сприятливих погодних умов, як вдень, так і вночі. За оцінками, це становить значну загрозу для літаків, особливо БПЛА та дронів.

Плівки типу діоксиду гафнію можуть істотно вплинути на бойові властивості такого комплексу, оскільки він є дуже чутливим до розсіювання, поглинання або абсорбції лазерного променя. Саме плівкові напилення діоксидом гафнію можуть істотно погіршити виявлення цілей наших захищених літальних апаратів, оскільки такі плівки можуть набагато сильніше поглинати лазерне випромінювання і навіть

сильно його розсіювати, що в даному випадку робить комплекс «Пересвіт» значно менш ефективним при ураженні повітряних цілей.

На прикладі бойових броньованих машин, бронетранспортерів, та іншої колісної чи гусеничної броньованої техніки, плівка діоксиду гафнію зможе чудово себе проявити у боротьбі проти військових лазерних цілепоказчиків та різноманітних птурів з лазерним наведенням, та ін. летальної зброї, прицілювання якої залежить на пряму від лазерного променя. Російські комплекси «Рефлекс» і їх сучасну модифікацію «Корнет» можна назвати одними з найяскравіших представників лазерної зброї проти цього виду техніки. Такі сучасні комплекси призначені для знищення як легкої, так і важкої бронетехніки, але використовують як мішень не стару дротову технологію, а нову сучасну лазерну технологію. Подібно до іншої лазерної зброї, ці комплекси мають ті ж проблеми з поглинанням і розсіюванням направляючого лазерного променя.

На прикладі оптичних прицілів, бусолей, біноклів, та ін. обладнання розвідки та спостереження, нанесення такого покриття може вберегти від навмисних засліплювань, лазерних наведень з далекомірів, указок, тепловізорів та ін. Дивлячись через призми біноклів чи бусолей, попадання лазерного променя безпосередньо у об'єктив не буде нести такого сильного ефекту засліплення і вбереже очі від лазерного випромінювання. Навіть більше, дана плівка зі своїми оптичними характеристиками зможе зробити зображення через об'єктиви більш чітким та просвітленим [1].

Таким чином, рекомендовано для підвищення коефіцієнта відбивання та розсіювання використовувати напилення діоксиду гафнію на склі, як захист від лазерного зондування та зчитування інформації у діапазоні частот 300 - 350, 500 - 700 та 1000 - 1500 нм.

Подібні плівкові напилення можуть бути дуже ефективними не тільки на звичайному віконному склі, але і на склі будь-якої техніки (в тому числі літаків, різних літальних апаратів, бронетехніки і т.д.), незалежно від товщини, призначення і виробника цього скла.

Плівкові покриття з діоксиду гафнію можуть мати широкий спектр застосувань як у цивільному, так і у військовому секторах, оскільки вони мають численні захисні та оптичні властивості та можуть навіть покращити оптичні властивості як простого віконного скла, так і спеціальної оптики для військових цілей. Доведено, що ці плівки не страждають від впливу погоди та високих температур і мають високу зносостійкість. Такі нанесення можуть бути досить ефективними не тільки від ЛСАР, але і від інших лазерних наведень, які відбуваються в різних діапазонах лазерного випромінювання (від 300 до 1500 нм), що робить ці плівки універсальними і здатними захищати від зчитування мовної інформації по оптико-електронного каналу та захищати різну техніку від лазерного наведення.

Очікувані результати, а саме дослідні зразки та рекомендації по їх використанню та застосуванню можуть бути використані як для військово-оборонних цілей, так і для будь-яких інших. Розробка нових методик виявлення антилазерних захисних властивостей, використання сучасних методик виявлення захисних характеристик антилазерного сканування, застосування нових антилазерних плівок та антиблікових покриттів на склопакетні конструкції, теорія впливу елементного складу на захисні властивості скла в залежності від енергетичних рівнів, моделювання необхідних характеристик відповідно теорії “склад-властивість” будуть цінними для світової та вітчизняної науки, що створять передумови для появи нових технологій, методик та проектів у цій галузі, а результати дослідження будуть вагомим вкладом у вирішення задач, які ставлять перед собою дана галузь.

Соціально-економічний ефект від впровадження запропонованих результатів можна очікувати у вигляді зменшення державних витрат за рахунок:

- зменшення витоку інформації через віброакустичні та оптичні канали витоку інформації;
- зменшення затрат на віброакустичні системи захисту віконного скла від зчитування ЛСАР;

- підвищення рівня скритності військ спеціального призначення від виявлення противником лазерними системами детектування;
- збереження життя особового складу військ спеціального призначення;
- розроблення плівок (напилення) з антилазерним, антибліковим покриттям, що дозволить інтегрувати антилазерні властивості у існуючі вікна та оптичні пристрої розвідки та військ спеціального призначення;
- можливість створення прототипів антилазерних плівок для військової техніки, БПЛА тощо, що не дозволить проводити захоплення об'єктів лазерними системами в тому числі повітряними системами лазерного сканування;
- зменшення витрат на пристрої протидії лазерним системам для військової техніки і БПЛА;
- підвищення рівня висококваліфікованих кадрів в галузі кібербезпеки та захисту інформації;
- зацікавлення Європейського та Світового військово-оборонного ринку новими зразками захисту від лазерних систем виявлення та детектування військової техніки та БПЛА, а також протидії ЛСАР на об'єктах де циркулює інформація з обмеженим доступом;
- підвищення рівня якості освітнього процесу.

Висновки до розділу 4

В результаті систематизації елементного і кількісного складу досліджуваного віконного скла, відповідно до періодів і груп періодичної системи хімічних елементів, показано залежність між електронною будовою хімічних елементів та захисними властивостями скла. Результати дослідження дають можливість моделювати закономірності захисних властивостей скла в залежності від його елементного складу.

Удосконалено модель впливів параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку від ЛСАР в залежності від концентрації основних елементів досліджуваних зразків. Результати моделювання дозволяють пов'язати

стехіометрію елементів досліджуваного скла з його захисними властивостями по відношенню до будь-якого лазерного опромінення.

Дослідження впливу різних плівкових покриттів на захист інформації від лазерного зондування дозволило спрогнозувати різнопланові альтернативи захисту мовної інформації від зчитування опто-електронним каналом. Експериментально доведено, що аморфна плівка на основі ВаСuТеF та діелектричне інтерференційне покриття на основі діоксиду гафнію, на відміну від відомих, дозволяють значно підвищити результативність захисту мовної інформації від зчитування лазерними системами.

Розроблено практичні рекомендації для підвищення ефективності захисту мовної інформації від ЛСАР при проектуванні захищеного оптоелектронного каналу витоку інформації шляхом варіативної комбінації захисних плівок та віконного склопакету.

В результаті дослідження впливу частоти звукових коливань на відгук лазерного променя з поширеного в Україні скла, експериментально доведено, що скло Lysuchansk 6 мм є більш чутливим до вібрації та має гірші властивості щодо відбивання лазерного сигналу, ніж Orioglass 4мм.

Побудовано модель багатокомпонентної архітектурно-компонованої структури оптоелектронного каналу витоку інформації, яка враховує комбінацію пошарових елементів, відгук від проходження лазерного променя в середину приміщень і у зворотному напрямку та розгортається на рівні агрегатної та комплексної моделі.

Рекомендовано використання захисних плівок для захисту від лазерних систем розвідки у військово-оборонних цілях.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено важливе науково-практичне завдання, а саме - підвищення ефективності методів пасивного захисту мовної інформації від зчитування оптоелектронним каналом.

Отримані результати дослідження дозволили досягнути поставлених завдань та сформулювати низку висновків і рекомендацій, що мають теоретичне і практичне значення.

1. Аналіз новітніх досліджень та розробок у сфері зняття акустичної інформації оптоелектронним каналом витоку визначив актуальність тематики роботи. ЛСАР призначена для збору особливо важливої інформації, оскільки є мобільною системою, що дозволяє використовувати її у випадках, коли немає можливості доступу до об'єкта охорони через наявність контрольованої зони. Аналіз фізичних особливостей роботи ЛСАР дозволив визначити критерії, що впливають на якість прийнятої інформації і скоректувати необхідну схему дослідної установки.

2. Аналізування праць зарубіжних та вітчизняних науковців дає підстави стверджувати, що захист голосових даних від можливого витоку через оптоелектронний канал є одним із найважливіших завдань забезпечення інформаційної безпеки як в державних, так і в комерційних структурах. В результаті дослідження з'ясовано, що в цій предметній сфері оновлюються методики, впроваджуються нові розробки, а це свідчить, що загрози інформаційній безпеці держави в теперішніх умовах є динамічними і постійно змінюються, і відповідна проблематика наукових досліджень не втрачає своєї актуальності. Разом з тим, наголошено на необхідності системного, комплексного підходу, який би поєднував синтез активних і пасивних методів захисту мовної інформації від витоку оптоелектронним каналом. На основі аналізу організаційних та технічних заходів захисту інформації та порівняльної оцінки активних і пасивних методів захисту, обґрунтовано переваги використання пасивних методів захисту інформації від ЛСАР.

3. На основі використаних методів дослідження, запропоновано комплексну методику для вивчення параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку інформації, яка дає змогу дослідити пошарову взаємозалежність та вплив захисних оптичних шарів і внутрішньої будови скла на його захисні характеристики від ЛСАР. Зокрема, оцінювання захищеності скла та плівкових покриттів від лазерних систем розвідки здійснювалося за допомогою рентенофлуоресцентного і спектрального аналізу та симплекс-решітчатого планування при моделюванні характеристик скла. Застосовані методи, розроблені на їхній основі методики та експериментальні дослідження становлять таку методологію, що повністю довершує поставлені завдання.

4. Проведений якісний та кількісний аналіз досліджуваного віконного скла дав можливість розподілити хімічні елементи відповідно до періодів і груп періодичної системи хімічних елементів. Встановлено, що коефіцієнти відбивання та поглинання змінюються залежно від зміни хімічного складу досліджуваного скла. Це пов'язано з наявністю таких хімічних елементів у складі досліджуваного скла: Rb, Ag, Zn, Cd, Ba, La, Pb, Mn, I та ін., радіуси та електронна структура яких мають значний вплив на захисні характеристики досліджуваного скла від лазерних систем акустичної розвідки, а саме зниження коефіцієнта відбиття та збільшення коефіцієнта поглинання. Залежність ця пояснюється електронною будовою атомів хімічних елементів (повнота s-, p-, d-, f-рівнів елементів і відповідних їм радіусів). Систематизація елементного та кількісного складу досліджуваного віконного скла за періодами та групами періодичної системи хімічних елементів, дала змогу побачити залежність між електронною будовою хімічних елементів і захисними характеристиками скла. Такі дослідження дають змогу моделювати компонентний склад і прогнозувати захисні характеристики скла. Встановлено, що отримання певних захисних характеристик залежить від складу скла, нанесених плівкових покриттів, способу їх обробки і стехіометрії та архітектури використання.

5. Запропоновано спосіб одержання вдосконаленої структури аморфної електропровідної захисної плівки типу ВаCuTeF з подальшим отриманням кристалічної структури за допомогою проведення відпалу в атмосфері аргону, що

за різних температур може значно покращити властивості пропускання видимого світла, збільшити потужність відбитого лазерного променя та більшою мірою поглинати потужність лазерного випромінювання у порівнянні з простими металізованими плівками. Обґрунтовано можливі переваги використання діелектричних плівок діоксиду гафнію, так як коефіцієнт відбивання скла з напиленою плівкою значно вищий в порівнянні з чистим склом, що в разі підвищує захисні характеристики скла від витоку мовної інформації. Крім того, затрати на виготовлення та нанесення таких покриттів є суттєво меншими, ніж затрати на розробку та виробництво будь-яких активних засобів захисту у сучасному світі, що підтверджує переваги пасивних методів захисту мовної інформації від зчитування оптоелектронним каналом.

6. Удосконалено модель впливу параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку від ЛСАР в залежності від концентрації основних елементів досліджуваного скла, що продемонстровано на прикладі аналізу залежності коефіцієнту відбивання від концентрації трьох складових елементів скла (Ca, Na, S). Виведена залежність продемонструвала, що коефіцієнт відбивання можна зменшити шляхом зміни співвідношення кількості кальцію та натрію у склі, що позитивно вплине на його захисні характеристики від зняття ЛСАР. В разі зменшення кількості сірки та збільшення кількості кальцію і натрію, можна передбачити збільшення коефіцієнту відбивання. Результати моделювання дозволяють пов'язати стехіометрію елементів досліджуваного скла з його захисними характеристиками по відношенню до лазерного опромінення.

7. Побудовано модель багатокомпонентної архітектурно-компонованої структури оптоелектронного каналу витоку інформації, яка враховує комбінацію пошарових елементів, відгук від проходження лазерного променя в середину приміщень і у зворотному напрямку та розгортається на рівні агрегатної та комплексної моделі. Захищеність приміщень від зняття мовної інформації системами лазерної розвідки має достатньо складну залежність і формується компонуванням багатьох взаємопов'язаних величин. Математична модель описує мінімізацію втрат інформації через оптоелектронний канал витоку від ЛСАР, що

відповідає максимальному ступеню захищеності приміщення. Загальні або сумарні втрати інформації складаються з декількох складових, які пошарово компонуються на вихідному матеріалі (склі). Для кожного гіпотетичного шару існує повна (оптимальна) величина зменшення ризику витоку інформації акустичним каналом від ЛСАР, який відповідає мінімуму. Цей мінімум втрат відповідає, в свою чергу, реальній чисельній характеристиці $K_{min}^{лсар}$, яка враховує комбінацію пошарових елементів, що беруть участь в забезпеченні безпеки приміщення.

8. Розроблено практичні рекомендації для підвищення ефективності захисту мовної інформації від ЛСАР при проектуванні захищеного оптоелектронного каналу витоку інформації. Дослідні зразки та рекомендації по їх застосуванню можуть бути використані як для військово-оборонних цілей, так і для будь-яких інших. Розробка нових методик виявлення антилазерних захисних властивостей, використання сучасних методик виявлення захисних характеристик антилазерного сканування, застосування нових антилазерних плівок та антиблікових покриттів на склопакетні конструкції, теорія впливу елементного складу на захисні характеристики скла в залежності від енергетичних рівнів, моделювання необхідних характеристик відповідно теорії «склад-властивість» будуть цінними для науки, що створять передумови для появи нових технологій, методик та проектів у цій галузі, а результати дослідження будуть вагомим вкладом у вирішення задач, які ставить перед собою сфера захисту інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарь М. С. Лазерний мікрофон. *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*. 2021. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42978/1/Bondar_bakalavr.pdf.
2. Васінович В., Ракобовчук В. Напівпровідниковий лазер неперервної дії (660нм) та дослідження його параметрів. *Computer Science & Engineering 2011: 5th International Conference of Young Scientists (CSE-2011)*, м. Львів, 24-26 листопада 2011р., Львів. С.148 – 152.
3. Гловин Н.М. Дослідження фізико-хімічних властивостей скла в залежності від його складу і ступеня обробки. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2013. Т. 14, №1. С. 145-148.
4. Глосарій термінів з хімії: за ред. Й. Опейда, О. Швайка. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький НУ. – Донецьк: Вебер, 2008. 758 с.
5. Голев Д.В., Кононович В.Г., Хомич С.В. Методики оцінки інформаційної захищеності телекомунікацій : навч. посіб. за ред. чл.-кор. МАЗ В.Г. Кононовича. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. 218 с.
6. Горбенко І., Ковальчук Ю. Оцінка характеристик лазерного каналу витоку мовної інформації з урахуванням багатомодового випромінювання лазера. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. 2008. № 2. С. 83-88.
7. Громико І. Загальна парадигма захисту інформації: визначення термінів. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. 2006 р. Вип. 2 (13). С. 130-137.
8. Громико І. О. Загальна парадигма захисту інформації: визначення термінів від носіїв до каналів витоку інформації. *Системи обробки інформації*. Х.: ХУПС, 2006. Вип. 9 (58). С. 3-9.

9. Данілов В.В., Котенко А.М. Напрями захисту акустичної інформації на об'єкті інформаційної діяльності. *Сучасний захист інформації*. 2020. № 4 (44). С. 18-22.
10. Дзяний Н.Р. Електропровідна плівка на вікна для захисту інформації від витоку оптоелектронним каналом. *Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації*: тези доповідей учасників IV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 12-15 лютого 2019 р. К.: Видавництво Європейського університету, 2019. С. 54-59.
11. Динаміка атомів і молекул в когерентних лазерних полях: монографія / А.М. Негрійко, В.І. Романенко, Л.П. Яценко; відп. ред. М.С. Бродин; НАН України, Ін-т фізики. К.: Наукова думка, 2008. 239 с.
12. Домарев В. В. Безпека інформаційних технологій. Системний підхід. К.: ТОВ «ТВД ДС», 2004. 992 с.
13. Дослідження впливу температури відпалу на електричні властивості прозорих плівок на основі ВаCuTeF / З.Ю. Готра, Дж. Тейт, Р. Кікінеші., А.А. Закутаєв, В.О. Ракобовчук. *Східно-Європейський журнал сучасних технологій*, 2007 р. 4 с.
14. Дудикевич В.Б., Собчук І.С., Гаранюк П.І., Ракобовчук В.О., Дей В.А. Аналіз захисних характеристик сучасних видів скла в широкому діапазоні частот по акустичному каналу витоку. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2014. Том 4, №4. С. 324-331.
15. Дудикевич В. Б., Опірський І. Р., Дзяний Н. Р., Ракобовчук Л. М., Гаранюк П. І. Дослідження оптимізації параметрів лазерного датчика вібрації для протидії лазерним системам розвідки. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2022. № 3 (15). С. 110-123.
16. Дудикевич В. Б., Собчук І. С., Ракобовчук В. О., Лич С. В. Дослідження властивостей плівок на основі діоксиду гафнію для захисту інформації від лазерного зондування. *Захист інформації і безпека інформаційних систем: матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції*. 2015. – С. 185–186.

17. Дудикевич В.Б., Ракобовчук В.О., Гаранюк П.І., Дей В.А. Вплив діелектричного покриття на захисні властивості скла від витоку інформації через оптико-електронний канал // Тези доповідей 20 Всеукр. наук.-практ. конф. «Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнічних систем спеціального призначення». 2014. С.196-197.

18. Жеплинський Т.Б. Особливості зміни теплофізичних властивостей скла в інтервалі склування. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. Vol. 2, № 2, 2019. С. 62-67.

19. Заболотний В.І., Євтухова О.Ю., Мартиненко Т.М. Дослідження факторів впливу на потенційні можливості лазерних систем акустичної розвідки. *Прикладна радіоелектроніка*, 2010. Том 9, № 3. - С. 449-453.

20. Загальна парадигма захисту інформації. Орлов П. І., та ін. Науково-практ. посіб. «Інформація та інформатизація». 2-е видання, доп. й перероб. – Харків: Вид-во. НУВС, 2003 р.

21. Захист приміщень від витоку інформації – URL: <http://www.soltex.su/articles/15113>

22. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пилипенко, Б. Ю. Корнілович; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 298 с.

23. Катаєв В., Яремчук Ю. Метод активного захисту інформації від зняття лазерними системами акустичної розвідки. *Захист інформації*. Т. 21, № 1, 2019. С. 34-39. DOI: <https://doi.org/10.18372/2410-7840.21.13545>

24. Каталог. Матеріали для тонкошарової оптики - URL: <http://www.luminophor.ua/catalog/oksidy-catalog-22-1.html>

25. Конахович Г.Ф., Назаренко Є.Л., Свириденко В.М. Захист інформації від витоку по технічних каналах. *Наукоємні технології* № 2. 2009. – С. 90–93. URL: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Nt/2009_2/20.pdf.

26. Лазерні технології: навч. посіб. Ч. 1 / Я. В. Бобицький, Г. Л. Матвіїшин; М-во освіти і науки України, НУ «Львівська Політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. 316 с. ISBN 978-617-607-789-3

27. Математичне моделювання хіміко-технологічних процесів. Комп'ютерний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. О. Абрамова. Електронні текстові данні – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 114 с.

28. Міхєєнко Л.А. Хвильові вимірювання. Навчальний посібник з дисципліни «Оптичні вуимірювання», Частина 3. – Київ, 2011. – 64 с.

29. Моделювання параметрів захисту пасивної протидії від лазерного зондуючого променя / В. Дудикевич, І. Собчук, І. Опірський, В. Ракобовчук, П. Гаранюк // *Комп'ютерні технології друкарства*. 2013. № 30. С. 102-111. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ktd_2013_30_15

30. Опірський І.Р., Совин Я.Р., Даценко Є. М., Усик М.Ю (2021). Аналіз методів і засобів протидії лазерним системам розвідки. *Український науковий журнал інформаційної безпеки*, № 26 (3), С. 142-150. DOI: 10.18372/2225-5036.27.16516.

31. Основні типи скла URL: http://www.rpglass.com.ua/tech_info.php?tech_info_id=3&lang=ukr

32. Пасивний захист інформації від лазерного зондування / В. Б. Дудикевич, І. С. Собчук, В. О. Ракобовчук // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Сер. : Автоматика, вимірювання та керування. 2013. № 753. С. 118-123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULP_2013_753_20

33. Прецензійний аналізатор Expert 3L. URL: <http://inam-xrf.com/expert3.php>

34. Принципи зняття звукової інформації зі скла і її захист. URL: <http://ua.nauchebe.net/2012/09/principi-znyattya-zvukovo%D1%97-informaci%D1%97-zi-skla-i-%D1%97%D1%97-zaxist/>.

35. Продеус А., Вітик А., Дворник О., Котвицький І. та ін. Суб'єктивне оцінювання розбірливості мови на тлі шуму та реверберації. *Мікросистеми, електроніка та акустика*, том 23, № 2, 2018, с. 66-73.

36. Ракобовчук Л., Дзяний Н., Антоневич М. Захисні характеристики плівок від лазерних систем акустичної розвідки на прикладі одношарового відбиваючого покриття діоксиду гафнію // *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 2023, vol. 29, issue 1, pp. 32-40. URL: <http://infosecurity.nau.edu.ua> DOI: 10.18372/2225-5036.29.17550.

37. Рибальський О.В., Хахановський В.Г., Кудінов В.А. Основи інформаційної безпеки та технічного захисту інформації / Посібник для курсантів ВНЗ МВС України, Київ. 2012.

38. Сайт Лисичанського склозаводу «Пролетарій». URL: <http://proletarij.com.ua/>

39. Сінюгін В., Яремчук Ю. Метод пасивного перешкоджання витоку інформації оптико-електронним каналом. // *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 2019, vol. 25, issue 1, pp. 65-69. DOI: 10.18372/2225-5036.25.13669

40. Спеціальні плівки RITRAMA. URL: www.ritrama.com.ua.

41. Структура та оптичні властивості прозорих електропровідних плівок на основі ВаCuTeF / З.Ю. Готра, Дж. Тейт., Р. Кікінеші, З.А. Дутчак, А.А. Закутаєв, Л.М. Ракобовчук, Б.М. Яворський / *Східно-Європейський журнал сучасних технологій*, 2007 р. – 4 ст.

42. Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічного захисту інформації. Навч. посіб. / Іванченко С.О., Гавриленко О.В., Липський О.А., Шевцов А.С. К.: ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», 2016. – 104 с.

43. Фізична хімія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / М.М. Племянніков, Н.В. Жданюк. К. : «Освіта України», 2022. – 152 с.

44. Хорошко В., Чекатов А. Методи і засоби захисту інформації. К.: Юніор, 2003, 504 с.
45. Хорошко В.О. Основи інформаційної безпеки / Хорошко В.О., Чередниченко В.С., Шелест М.Є./ За ред. проф. В.О. Хорошка. К.: ДУІКТ, 2008. - 186 с.
46. Чуйко Г. П. Математичне моделювання систем і процесів: [навчальний посібник] / Г. П. Чуйко, О. В. Дворник, О. М. Яремчук. Миколаїв: Видво ЧДУ імені Петра Могили, 2015. – 244 с.
47. Швець В.А., Скворцов С.М., Домарев В.В. Проектування пристроїв систем захисту інформації. К.: НАУ, 2006. - 38 с.
48. Шульгіна В.І. Текст як комплекс різнотипної мовної інформації / Матеріали Міжнародної наукової конференції *Сучасні міжнародні відносини: актуальні проблеми теорії і практики*. К.: НАУ, 2020. С. 74-84. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/43546>
49. Яворський Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Довідник з фізики: для інженерів та студентів вищих навч. закладів. – Т.: Навчальна книга-Богдан, 2005. – 1034 с. – ISBN 966-692-818-3
50. 3M Window Films URL: https://www.3m.com/3M/en_US/p/c/films-sheeting/window/
51. A building products library for customers industry professionals. URL: <http://www.ribaproductselector.com/Product.aspx?ci=20953&pr=saintgobainglassuk-SGGDiamant>
52. Abramov P. I., Kuznetsov E. V., Skvortsov L. A. (2017). Prospects of using quantum-cascade lasers in optoelectronic countermeasure systems: review. *J. Opt. Technol.* 84, 331-341
53. Air Force Research Lab's high power CO₂ laser. Defense Tech Briefs. Archived from the original on. URL: <https://web.archive.org/web/20070607101250/http://www.afrlhorizons.com/Briefs/Feb04/ML0315.html>

54. Analyzer «Expert 3L». Accessed: November 2019. URL: <http://inam.kiev.ua/expert-3l/>
55. Anti-Glare Window Film Installation - URL: <https://www.windowfilmdepot.com/solutions/sun-control/anti-glare-films/>
56. Audio spy microphones. – URL: <http://www.gia-servizi.com/prodotti/indexen.htm>.
57. Boholepov I.I., Three methods for determining the necessary sound insulation of windows: pros and cons // *Civil Engineering Journal*, №1, 2010.
58. Breakthrough instruments and products PhotoSonus M⁺ laser for photoacoustic imaging / Juronis A., Jasinskas M. // *Review of scientific instruments. Open access*. Volume 92, Issue 5, 1 May 2021, Article number 059502. ISSN 00346748/ DOI 10.1063/5.0053559
59. Chounlakone M. The Laser Microphone. - URL: https://web.mit.edu/6.101/www/s2017/projects/jalverio_Project_Final_Report.pdf
60. Dudykevych V., Dziahyi N., Opirskyy I., Rakobovcuk L., Haraniuk P. Investigation of the use of protective characteristics of single-layer reflective coating films of hafnium dioxide to counter special cyber espionage devices // *Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications* : proceedings of the 11th IEEE International conference IDAACS (Cracow, Poland, 22-25 September, 2021). Vol. 1. 2021. C. 709-713. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021
61. Dudykevych V., Opirskyy I., Garanuk P., Rakobovcuk L., Dziahyi N. Impact research of sound vibration frequencies on the laser beam response of the most common Ukrainian glass // *Advanced trends in radioelectronics, telecommunications and computer engineering* : proceedings of 15th International conference, February 25–29, 2020, Lviv, Slavske, Ukraine. 2020. C. 213–217. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235425. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088632>
62. Dziahyi N., Dudykevych V., Opirskyy I., Rakobovcuk L., Haraniuk P. Investigation of the protective capabilities of glass from laser sounding depending on its

elemental composition // *Eureka: Physics and Engineering*. 2022. № 5. P. 162–174. DOI: 10.21303/2461-4262.2022.002527

63. EUROGLAS. Products and data. URL: <http://www.euroglas.com>,– Publisher: EUROGLAS. – Butzberg, 2010, p. 161.

64. Fathi, R., Wei, H., Saleh, B. et al. (2022). Past and present of functionally graded coatings: Advancements and future challenges. *Applied Materials Today*, Vol. 26, 101373. doi: 10.1016/j.apmt.2022.101373

65. Glass Time. Technical Manual. – Publisher: GUARDIAN Europe Dudelange / Luxemburg. – 2013, p. 218. – URL: <https://www.guardian.com/europe/index.htm>.

66. Guardian Glass, Automobile, Bilding Products. URL: <http://www.gulfguard.com/Products/ClearFloatGlass/>

67. Hafnium oxide. URL: <https://luminophor.ru/catalog/plenkoobrazuyushchie-materialy/oksidy/gafniy-iv-oksid/>

68. Home Window Film. URL: <https://www.gilafilms.com/for-home>

69. Hongxin Huang. Laser-Induced Acoustic Detection: Applications and Challenges. (2019)

70. Horev A. and Savin A. Efficiency Research of Sun Protection Window Films for Speech Information Protection from LEAKAGE by Optoelectronic Channel. 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, 2021, pp. 2335-2339, doi: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396253.

71. Huimin Xie. Advances in Laser Ultrasonics and Its Applications. (2019).

72. Installation of a vacuum spraying. URL: http://www.goldenage.kiev.ua/nitrid_2.htm

73. Ivanov V.A. Novye legkoplavkie glazuri, jemali i fosforsoderzhashhie stekla: mezhdunar. nauchn.-tehn. konf. (20-22 marta 1973) (RPI, Riga, 1973), p. 208.

74. Klochko N.P., Barbash V.A., Klepikova K.S., Kopach V.R., Tyukhov I.I., Yashchenko O.V., Zhadan D.O., Petrushenko S.I., Dukarov S.V., Sukhov V.M., Khrypunova A.L. Biodegradable flexible transparent films with copper iodide and biomass-derived nanocellulose for ultraviolet and high-energy visible light protection //

Solar Energy, Volume 220, 2021, Pages 852-863, ISSN 0038-092X.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.014>.

75. Krenar Sh. Rexhepi. Reflection-Analysis on Different Types of Light Beams for Short Distances. *Master's Thesis, Institute of Microwave and Photonic Engineering Graz University of Technology, Austrian*, 2014. 103 p. URL: <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a750e93c5b&location=browse>

76. Laser microphone. URL: <http://www.williamson-labs.com/laser-mic.htm>

77. Laser-3500 Laser Room Monitoring System. URL: <http://www.spyzones.com/laser>.

78. Laser-sound: optoacoustic transduction from digital audio streams / Kaleris K., Stelzner B., Hatziantoniou P., Trimis D., Mourjopoulos J. // *Scientific reports. Open access*. Vol. 11, issue №1. December 2021. Article number 476

79. Laser Spy Device. URL: <http://www.lucidscience.com/pro-laser%20spy%20device-1.aspx>.

80. Liew, S. C. Electromagnetic Waves. *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing*. 2020. – URL: <http://crisp.nus.edu.sg/research/tutorial/em.htm>

81. Listening with curiosity-tracking the acoustic response of portable laser ablation. Kradolfer S., Heutschi K., Koch J., Gunther D./ *Chimia. Open access*. Volume 75, Issue 4, Pages 300-304, April 2021. ISSN 00094293/ DOI 10.2533/Chimia.2021.300

82. Liyan Li, Hualin Zeng, Yuze Zhang, Qingshan Kong, Yan Zhou, and Yuliang Liu (2014) Analysis of backscattering characteristics of objects for remote laser voice acquisition, *Appl. Opt.* 53, 971-978

83. Lych Sergij, Rakobovchuk Volodymyr. Protection Of Window Glass From Acoustic Leakage // 6th International Conference of Young Scientists “COMPUTER SCIENCE & ENGINEERING 2013” (CSE-2013), 21–23 NOVEMBER 2013, LVIV, UKRAINE. – C.248 – 249

84. Malinauskas A. Chemical deposition of conducting polymers // *Polymer*. 2001. Vol. 42. Is. 9. P. 3957–3972.

85. Marc Rehfeld. «Sooundproofing laminated glass pane » – Патент США № 5773102, 1998 p. – 10 ст.

86. Mode of access: URL: <https://luminophor.ru/catalog/plenkoobrazuyushchie-materialy/oksidy/gafniy-iv-oksid/>
87. Molebny V., Steinvall O. (2013) Laser Remote Sensing: Velocimetry Based Techniques. In: Tuchin V. (eds) Handbook of Coherent-Domain Optical Methods. Springer, New York, NY.
88. Nazarii Dzianyi. Usage of semitransparent amorphous films on windows to protect information from acoustic intelligence laser systems // Materials of VII-th International Scientific and Technical Conference *Information protection and information systems security* - May 30-31, 2019 – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House 2019. – p. 156-157. ISBN 978-966-941-337-6
89. Nassi, B., Pirutin, Y., Shamir, A., Elovici, Y., Zadov, B. (2020). Lamphone: Real-Time Passive Sound Recovery from Light Bulb Vibrations. *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, 708. <https://eprint.iacr.org/2020/708.pdf>
90. Opirskyy I., Dudykevych V., Rakobovcuk L., Dzianyi N. Research and software optimization of laser vibrati on sensor // Processing, transmission and security of information. Vol. 2 : [monografia zbiorowa]– Bielsko-Biała, Poland: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2019. – S.273–282. ISBN: 978-83-66249-25-7
91. Optical monitor Dyn-optic Model 590. URL: <http://dyn-optics.com/?product=model-590-optical-monitor>
92. Orionglass. URL: <http://www.orionglass.com.ua>
93. Peter Jahoda. «Low-emissivity window film and process for producing such a film» - Патент США № 20100266801, 2010 p. – д12 ст.
94. Pilkington Glass Handbook. URL: <http://www.pilkington.com/>
95. Ploretaryi [GOST 111-90]. URL: <http://proletarij.com.ua/> Lysychansk glass factory «Proletary»
96. Poliak J., Pezzeri P., Leitgeb E. and Wilfert O. Analytical Expression of FSO Link Misalignments Considering Gaussian Beam Institute of Radio Electronics, Brno University of Technology, Purkyova 118, 612 00 Brno, Czech Republic Institute of Microwave and Photonic Engineering, Graz University of Technology, Inffeldgasse 12, Graz, Austria NOC/OC&I 2013, ISBN: 978-1-4673-5822-4

97. Polyanilines and Polyaniline Dopants. URL: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products>.
98. Saint Gobain glass. URL: <http://uk.saint-gobain-glass.com/content/sgg-diamant%C2%AE-product-brochure>
99. Sen Taner. Reflection Properties of a Gaussian Laser Beam from Multilayer Dielectric Films. Master's Thesis. Urla Izmir, Turkey 2009. 97 p.
100. Sergij Lych, Volodymyr Rakobovchuk (2013) «Protection Of Window Glass From Acoustic Leakage», «Proceedings Of The 6th International Conference Of Young Scientists». Cse-2013. Lviv pp.248-249.
101. Signals defense SHIELDING FILMS URL: <https://signalsdefense.com/shielding-films/>
102. Siniuhin V., Yaremchuk Y. Method of passive counteraction information leakage by optoelectronic channel // *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 2019, vol. 25, issue 1, pp. 65-69. DOI: 10.18372/2225-5036.25.13669
103. Smart Tint film URL: <https://www.smarttint.com>
104. Smith D.O. (1965) Magneto-optical Scattering from Multi-layer Magnetic and Dielectric Films, *Optica Acta: International Journal of Optics*, 12:1, 13-46, DOI: 10.1080/713817902
105. Spectrophotometer UV-3600. URL: <http://www.analyt.ru/catalog/element.php?ID=946>
106. Test and analysis of window vibration for anti-laser-eavesdropping / Zeng U., Pan B., Cao Y., Ai H.// *Applied acoustics*. Volume 176. May 2021, Article number 107871. ISSN 0003682X/ DOI 10.1016/j.apacoust.2020.107871
107. Test Tone Generator software. URL: <http://www.esseraudio.com/index.php/en/>
108. Triangulation laser sensors, RF603 series / *Operation manual*. URL: https://riftek.com/upload/iblock/eb8/Laser_Triangulation_Sensors_RF603_Series_eng.pdf
109. Two-beam spectrophotometer Shimadzu UV-3600. – URL: <http://shvaiko.ru/?p=670>

110. Using 3M Safety Films To Secure Windows and Prevent Break-Ins URL: <https://homealarmreport.com/home-security/3m-safety-films-for-home-security/>
111. Valeriy Dudykevych. Modern technologies analysis of protection of language information from laser removing / Valeriy Dudykevych, Bogdan Berezuk, Nazarii Dziahyi, Petro Garanuk, Larysa Rakobovcuk // Materials of VII-th International Scientific and Technical Conference *Information protection and information systems security* May 30-31, 2019 – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House 2019. – p. 132-133. ISBN 978-966-941-337-6
112. Valeriy Lakhno, Valeriy Kozlovskii, Yuliia Boiko, Andrii Mishchenko, Ivan Opirskyy. Management of information protection based on the integrated implementation of decision support systems, *Eastern-european journal of enterprise technologies. Information and controlling system*, Vol 5, No 9(89), pp.36-42, (2017). DOI: 10.15587/1729-4061.2017.111081.
113. Wu and S. Haruyama (2020) Real-time audio detection and regeneration of moving sound source based on optical flow algorithm of laser speckle images. *Opt. Express* 28, 4475-4488
114. Xiankui Hu. «Infrared radiation blocking laminate» - Патент США № 7550193 B2, 2009 p. - 11 ст.
115. Wilson S.A., Jourdain R.P.J., Zhang Q. et al. New materials for microscale sensors and actuators. An engineering review // *Mater. Sci. Engineer. R.* 2007. Vol. 56. P. 1–129.
116. Yu, W., Peng, Y., Cao, L. et al. (2021). Free-standing laser-induced graphene films for high-performance electromagnetic interference shielding. *Carbon*, Vol. 183, P. 600-611. doi: 10.1016/j.carbon.2021.07.055
117. Zhang, W., Zhang, L., Liang, X. et al. (2017). Unconventional High-Performance Laser Protection System Based on Dichroic Dye-Doped Cholesteric Liquid Crystals. *Sci Rep* 7, 42955 <https://doi.org/10.1038/srep42955>

ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Наукові праці, в яких опубліковано наукові результати дисертації:

1. Ракобовчук Л., Дзяний Н., Антоневич М. Захисні характеристики плівок від лазерних систем акустичної розвідки на прикладі одношарового відбиваючого покриття діоксиду гафнію // *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 2023, vol. 29, issue 1, pp. 32-40. URL: <http://infosecurity.nau.edu.ua> DOI: 10.18372/2225-5036.29.17550 (авторові належить - дослідження коефіцієнту відбивання скла з напиленим одношаровим покриттям діоксиду гафнію за допомогою спектральних характеристик)

2. Yemanov V., Dzyanyi N., Dzyana H., Dolinchenko O., Didych O. Modelling a public administration system for ensuring cybersecurity // *International Journal of Safety and Security Engineering (IJSSE)*. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 81–88. 0,36 ум.д.ар. URL: <https://www.iieta.org/journals/ijssse/paper/10.18280/ijssse.130109> DOI: <https://doi.org/10.18280/ijssse.130109> (SciVerse SCOPUS)

3. Дудикевич В. Б., Опірський І. Р., Дзяний Н. Р., Ракобовчук Л. М., Гаранюк П. І. Дослідження оптимізації параметрів лазерного датчика вібрації для протидії лазерним системам розвідки // *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. – 2022. – № 3 (15). – С. 110–123. 0,62 ум.д.ар. DOI: 10.28925/2663-4023.2022.15.110123 (авторові належить - дослідження та оптимізація програмного середовища і вхідних параметрів лазерного датчика вібрації для підтвердження анти лазерних властивостей скла та захисних плівок)

4. Dzyanyi N., Dudykevych V., Opirskyy I., Rakobovcuk L., Haraniuk P. Investigation of the protective capabilities of glass from laser sounding depending on its elemental composition // *Eureka: Physics and Engineering*. – 2022. – № 5. – P. 162–174. 0,58 ум.д.ар. DOI: 10.21303/2461-4262.2022.002527 (SciVerse SCOPUS).

5. I. Opirskyy, V. Dudykevych, L. Rakobovcuk, N. Dzyanyi. Research and software optimization of laser vibration sensor // *Processing, transmission and security of information*. Vol. 2 : [monografia zbiorowa] – Bielsko-Biała, Poland: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2019. – S.273–282. ISBN: 978-83-66249-25-7

(авторові належить - дослідження вхідних параметрів лазерного датчика вібрації для підтвердження анти лазерних властивостей скла та захисних плівок)

6. Дудикевич В.Б. Критична інфраструктура в аспекті євроінтеграційного курсу України у сфері забезпечення кібербезпеки / В.Б. Дудикевич, П.І. Гаранюк, Н.Р. Дзяний, Л.М. Ракобовчук, Б.М. Березюк // Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал – № 3 (54) – 2018. – С. 81-88. ISSN 2411-3816 (авторові належать - рекомендації щодо використання захисних плівок для захисту від лазерних систем акустичної розвідки на об'єктах критичної та критично-інформаційної інфраструктури)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Дзяний Н.Р. Електропровідна плівка на вікна для захисту інформації від витoku опто-електронним каналом / Н.Р. Дзяний // Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: тези доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції (Закарпатська область, Міжгірський район, село Верхнє Студене, туристичний комплекс «Едельвейс». 12 – 15 лютого 2019 р.). – К.: Видавництво Європейського університету, 2019. – С. 54-59.

8. Valeriy Dudykevych. Modern technologies analysis of protection of language information from laser removing / Valeriy Dudykevych, Bogdan Berezuk, Nazarii Dzianyi, Petro Garanuk, Larysa Rakobovcuk // Materials of VII-th International Scientific and Technical Conference «Information protection and information systems security» - May 30-31, 2019 – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House 2019. – p. 132-133. ISBN 978-966-941-337-6

9. Nazarii Dzianyi. Usage of semitransparent amorphous films on windows to protect information from acoustic intelligence laser systems / Nazarii Dzianyi // Materials of VII-th International Scientific and Technical Conference «Information protection and information systems security» - May 30-31, 2019 – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House 2019. – p. 156-157. ISBN 978-966-941-337-6

10. Dudykevych Valeriy, Oprisky Ivan, Garanuk Petro, Rakobovcuk Larysa, Dzianyi N. Impact research of sound vibration frequencies on the laser beam response of the most common Ukrainian glass // Advanced trends in radioelectronics,

telecommunications and computer engineering : proceedings of 15th International conference, February 25–29, 2020, Lviv, Slavske, Ukraine. – 2020. – С. 213–217. 0,22 ум.д.ар. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235425. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088632> (Google Scholar, SciVerse SCOPUS, Web of Science).

11. Dudykevych V., Dzianyi N., Opirsky I., Rakobovcuk L., Haraniuk P. Investigation of the use of protective characteristics of single-layer reflective coating films of hafnium dioxide to counter special cyber espionage devices // Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications : proceedings of the 11th IEEE International conference IDAACS (Cracow, Poland, 22-25 September, 2021). Vol. 1. – 2021. – С. 709–713. 0,22 ум.д.ар. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021 (SciVerse SCOPUS).

Інші публікації, що додатково відображають результати дисертації:

12. Дзяний Н.Р. Реалізація національної політики у сфері кібербезпеки / Н.Р. Дзяний, Г.О. Дзяна // Ефективність державного управління: зб. наук. пр. ЛПІДУ НАДУ. – Вип. 3 (48) Ч.1 / за заг. ред. чл.-кор. НАН України В. С. Загорського, доц. А. В. Ліпенцева. – Львів : ЛПІДУ НАДУ, 2016. – С. 123-130. ISSN 2070-4011

13. Журавчак Д. Ю., Дзяний Н. Р., Іськович С. В. Захищеність комунікаційного середовища побудованого за технологією ZigBee // Захист інформації і безпека інформаційних систем : матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, 1-2 червня 2017 р. Львів – 2017. – С. 160–161.

14. Дудикевич В.Б. Безпека критичної інформаційної інфраструктури як основа стійкості держави / В.Б. Дудикевич, І.Р. Опірський, Л.М. Ракобовчук, Н.Р. Дзяний // Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: тези доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції (Закарпатська область, Міжгірський район, село Верхнє Студене, туристичний комплекс «Едельвейс». 12 – 15 лютого 2019 р.). – К.: Видавництво Європейського університету, 2019. – С. 21-23.

ДОДАТОК Б. Акти впровадження



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

Іван ДЕМИДОВ

02 2024 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи

Дзяного Назарія Ростиславовича

«Захист мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки»,
представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 – *Кібербезпека та захист інформації*

Комісія у складі: голови – начальника науково-дослідної частини, д.т.н., ст. доц. Небесного Р.В. та членів: завідувача кафедри захисту інформації, д.т.н., проф. Опірського І.Р., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень, к.т.н. Лазько Г.В. і в.о. заступника начальника планово-фінансового відділу Фаст І.І., цим актом підтверджують, що результати дисертаційної роботи використовувалися при виконанні науково-дослідної роботи кафедри захисту інформації «Розроблення та удосконалення методів та засобів захисту інформації для протидії несанкціонованому доступу в інформаційно-комунікаційних мережах» (№ держреєстрації 0119U101690).

Здобувачем Дзяним Н.Р. вдосконалено відомі та розроблено нові методи захищеності мовної інформації від витокуюпто-електронним каналом на основі дослідження впливу елементного складу скла на його захисні властивості від лазерних систем акустичної розвідки, зокрема, впливу елементного складу листового скла на коефіцієнт відбивання зондуючого випромінювання, моделювання параметрів захисних властивостей скла від лазерних систем акустичної розвідки в залежності від концентрації основних елементів. Запропонована модель підвищення захисних властивостей віконного скла до лазерних систем акустичної розвідки та розроблений алгоритм захисту споруд від витоків мовної інформації в умовах сучасних викликів та загроз, дозволять підвищити рівень захищеності приміщень від зняття мовної інформації опто-електронним каналом.

Голова комісії
начальник науково-дослідної
частини д.т.н., ст. доцл.

Роман НЕБЕСНИЙ

Члени комісії:
зав. каф. захисту інформації,
д.т.н., проф.

Іван ОПІРСЬКИЙ


зав. відділу науково-організаційного
супроводу наукових досліджень, к.т.н.

Галина ЛАЗЬКО

в.о. заст. нач. планово-фінансового
відділу

Ірина ФАСТ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник начальника Національної академії
сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного з
навчальної роботи, кандидат військових наук, доцент
полковник  О. Красюк

26.01.2022

АКТ

впровадження матеріалів

дисертаційної роботи Дзяного Назарія Ростиславовича на тему

«Захист мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки»

Комісія у складі: голови комісії – голови-завідувача кафедри гуманітарних наук, доктора наук з державного управління, доцента пр. ЗСУ Каляєва А.О., членів комісії – професора кафедри гуманітарних наук, доктора історичних наук, професора, пр. ЗСУ Харука А.І., професора кафедри гуманітарних наук, доктора історичних наук, професора, пр. ЗСУ Соляра І.Я., доцента кафедри гуманітарних наук, кандидата історичних наук, доцента, пр. ЗСУ Когута П.В. склали даний акт про те, що матеріали дисертації Дзяного Н.Р. використані у навчальному процесі для курсантів магістерської програми Інституту морально-психологічного забезпечення НАСВ при викладанні навчальної дисципліни «Сучасні аспекти інформаційної безпеки». (т.2 Інформаційні війни. Система забезпечення інформаційної безпеки).

Голова комісії: пр. ЗСУ

А. Каляев

Члени комісії: пр. ЗСУ

А. Харук

пр. ЗСУ

І. Соляр

пр. ЗСУ

П. Когут

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з науково-педагогічної роботи

Національного університету

«Львівська політехніка»

Олег ДАВИДЧАК

2024 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес

Дзяного Назарія Ростиславовича

«Захист мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки», представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 – *Кібербезпека та захист інформації*

Комісія НУ «Львівська політехніка» у складі:

Голова комісії – голова науково-методичної ради інституту комп'ютерних технологій та метрології, д.т.н., проф. Байцар Р.І.

Члени комісії:

Завідувач кафедри «Захист інформації» д.т.н., проф. Опірський І.Р., к.т.н., доц. Гаранюк П.І., к.т.н., доц. Совин Я.Р.

даним актом підтверджує, що наукові дослідження, проводилися здобувачем на кафедрі «Захист інформації» Національного університету «Львівська політехніка». Основні положення та результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес кафедри «Захист інформації» Національного університету «Львівська політехніка» як окремих тем лекційних курсів, так і в циклах лабораторних робіт для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», що навчаються за напрямом 125 «Кібербезпека», з дисциплін:

1 - «Технічні засоби охорони об'єктів та управління технічними засобами інформації»: Тема 1. Загальні принципи захисту об'єктів з використанням технічних засобів охорони – дослідження існуючих каналів витоку мовної інформації. Тема 2. Методики поетапного вибору раціональних варіантів захисту об'єкта з використанням технічних засобів охорони – аналіз пасивних та активних методів захисту мовної інформації.

2 - «Засоби передавання, приймання та обробки інформації в системах технічного захисту інформації» - дослідження та методи визначення захищеності мовної інформації від витоку опто-електронним каналом.

Голова комісії
голова науково-методичної ради ІКТА
д.т.н., проф.

Члени комісії:
зав. каф. ЗІ, д.т.н., проф.

доц. каф. ЗІ, к.т.н., доц.

доц. каф. ЗІ, к.т.н., доц.

Роман БАЙЦАР

Іван ОПІРСЬКИЙ

Петро ГАРАНЮК

Ярослав СОВИН

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчально-виховної та наукової роботи
Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій
доктор технічних наук, професор

Любов БЕРКМАН
2024 р.



АКТ

впровадження в освітній процес Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій наукових результатів **Дзяного Назарія Ростиславовича**, одержаних під час проведення дисертаційного дослідження на тему «Захист мовної інформації від лазерних систем акустичної розвідки» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 Кібербезпека та захист інформації, галузі знань 12 Інформаційні технології

Комісія у складі:

голови комісії – директора Навчально-наукового інституту захисту інформації, д.т.н., професора Савченка В.А.;

членів комісії:

завідувача кафедри Інформаційної та кібернетичної безпеки, д.т.н., професора Гайдур Г.І.; завідувача кафедри Систем інформаційного та кібернетичного захисту, д.т.н., професора Туровського О.Л.; завідувача кафедри Управління інформаційною та кібернетичною безпекою, д.е.н., професора Легомінової С.В., провела роботу щодо визначення фактичного впровадження результатів наукового дослідження здобувача наукового ступеня доктора філософії кафедри захисту інформації Національного університету «Львівська політехніка» Дзяного Назарія Ростиславовича в освітній процес Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

У результаті проведеної роботи комісія встановила:

1. Нові наукові результати, одержані Дзяним Н.Р., використовуються під час навчальних занять зі здобувачами вищої освіти за спеціальністю 125 Кібербезпека та захист інформації освітніх рівнів Бакалавр та Магістр у наступних дисциплінах:

комплексна методика для вивчення параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку інформації від лазерних систем акустичної розвідки – під час проведення занять з дисциплін «Методи та засоби

технічного захисту інформації», «Схемотехніка пристроїв технічного захисту інформації»;

результати дослідження впливу елементного складу скла на захисні параметри в оптоелектронному каналі витоку інформації від лазерних систем акустичної розвідки – під час проведення занять з дисциплін «Технічні засоби охорони об'єктів», «Технологія створення та застосування комплексів захисту інформації з обмеженим доступом та охорони об'єктів інформаційної діяльності»;

математична модель впливу параметрів захищеності оптоелектронного каналу витоку від лазерних систем акустичної розвідки в залежності від концентрації основних елементів – під час проведення занять з дисциплін «Поля і хвилі в системах технічного захисту інформації», «Компонентна база в системах захисту інформації», «Теорія захисту інформаційних ресурсів обмеженого доступу»;

результати дослідження впливу різних плівкових покриттів на захист інформації від лазерного зондування – під час проведення занять з дисциплін «Комплексні системи захисту інформації», «Організація і проведення спеціальних досліджень на об'єкті інформаційної діяльності».

2. Зазначені наукові результати Дзяного Н.Р. представлені у формі окремих навчальних питань і включені до методичних розробок для лекційних та практичних занять, які проводяться у Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій.

Голова комісії:

Директор Навчально-наукового інституту
захисту інформації
д.т.н., професор



Віталій САВЧЕНКО

Члени комісії:

Завідувач кафедри Інформаційної та
кібернетичної безпеки
д.т.н., професор




Галина ГАЙДУР

Завідувач кафедри Систем інформаційного та
кібернетичного захисту
д.т.н., професор



Олександр ТУРОВСЬКИЙ

Завідувач кафедри Управління інформаційною
та кібернетичною безпекою
д.е.н., професор



Світлана ЛЕГОМІНОВА