

УДК 681.2:531.7

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-16>

АНАЛІЗ ВИРОБНИЧИХ ЗАВАД, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Суботін Олег Володимирович,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0002-6095-5840

Сус Степан Павлович,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри автоматизації виробничих процесів

Донбаської державної машинобудівної академії

ORCID ID: 0009-0004-0108-897X

Петрухін Ярослав Ігорович,

аспірант

Донбаської державної машинобудівної академії

ORCID ID: 0009-0002-8208-6225

У статті проведено аналіз роботи засобів отримання та передачі інформаційних сигналів в екстремальних умовах металургійного виробництва. Доведено, що саме канал розповсюдження має велику різноманітність складників, які визначають втрати енергії інформаційного сигналу, особливо оптичного. Втрати енергії оптичного інформаційного сигналу в елементах первинного перетворювача нижчі за величиною за втрати у зовнішньому середовищі. Тому розглянуто питання, пов'язані з підвищенням надійності і безпомилковості роботи каналу передачі інформації на тлі існуючих електромагнітних зв'язків і завад в умовах виробництва, наявність яких впливає на якість його роботи. Зроблено аналіз заходів, що підвищують перешкодостійкість первинних перетворювачів. З'ясовано, що особливості виробничого процесу накладають певний відбиток на склад і тип завад, що діють на корисний сигнал під час його передавання інформаційним каналом, і загальні підходи до боротьби з перешкодами виявляються недостатньо дієвими. Впливати на саму заваду й збільшувати потужність окремого сигналу не є можливим, тому розглядається питання спільного захисту каналу та інформаційного сигналу. Досліджено виробничі завади, що впливають на якість роботи засобів контролю технологічних параметрів, а також пристроїв та елементів системи, що забезпечують їхній зв'язок з об'єктом виробництва. Проведено аналіз виробничих завад та дано оцінку впливу цих деструктивних чинників металургійного виробництва на якість передачі інформації. Установлено, що втрати енергії оптичного інформаційного сигналу в елементах первинного перетворювача непорівнянні за величиною з втратами у зовнішньому середовищі. Запропоновано використання спеціальних сигналів, що мають високу стійкість до перешкод під час їх передачі, а також підходи до вдосконалення і розроблення принципово нових структур приймальних пристроїв, що дають змогу виявляти інформаційні сигнали за значних за інтенсивністю перешкод. Це дає змогу вирішити питання підвищення надійної і безпомилкової роботи каналу передачі інформації в екстремальних умовах виробництва.

Ключові слова: металургійне виробництво, оптичні та електромагнітні завади, канал розповсюдження оптичного сигналу, передача інформації.

Subotin Oleg, Sus Stepan, Petrukhin Yaroslav. Analysis of external and internal interferences operating in metallurgical production

The article analyzes the operation of means of receiving and transmitting information signals in extreme conditions of metallurgical production. It is proved that the distribution channel has a large heterogeneity of components that determine the energy losses of the information signal, especially optical. The energy losses of the optical information signal in the elements of the primary converter are lower in magnitude than the losses in the external environment. Therefore, issues related to increasing the reliability and error-free operation of the information transmission channel against the background of existing electromagnetic connections and interference in production conditions, the presence of which affects the quality of its operation, are considered. An analysis of measures that increase the noise immunity of primary converters has been carried out. It has been found that the features of the production process leave a certain imprint on the composition and type of interference that act on the useful signal during its transmission through the information channel and general approaches to combating interference are not

sufficiently effective. It is not possible to influence the interference itself and increase the power of a separate signal, therefore the issue of joint protection of the channel and information signal is considered. Production interference that affects the quality of operation of means of control of technological parameters, as well as devices and elements of the system that ensure their connection with the production facility, has been studied. An analysis of production interference has been carried out and an assessment of the impact of these destructive factors of metallurgical production on the quality of information transmission has been made. It is established that the energy losses of the optical information signal in the elements of the primary converter are incomparable in magnitude with the losses in the external environment. The use of special signals that have high resistance to interference during their transmission is proposed, as well as approaches to the improvement and development of fundamentally new structures of receiving devices that allow detecting information signals in the presence of significant interference. This allows solving the problem of increasing the reliable and error-free operation of the information transmission channel in extreme production conditions.

Keywords: metallurgical production, optical and electromagnetic interference, optical signal propagation channel, information transmission.

Вступ. Металургійне виробництво складається з різноманітних за складністю технологічних процесів, які забезпечуються не менш складними пристроями, установками, апаратами, агрегатами й комплексами. Наявна ієрархічна побудова системи керування технологічними процесами та підприємством у цілому реалізована шляхом комплексної автоматизації окремих ділянок виробництва. Жодна система автоматизації не може функціонувати в умовах відсутності інформації про стан самої системи, параметрів об'єкта контролю й умов зовнішнього середовища. Це зумовлює використання великої кількості та різноманіття засобів первинного контролю. Для підвищення швидкості, точності й достовірності оброблюваної інформації з великої кількості різноманітних датчиків технологічних параметрів розробляються інформаційно-вимірювальні системи, що забезпечують збір, обробку, збереження і формування керуючої та статистичної інформації [1; 2].

Процеси автоматизації устаткування та управління технологічними процесами і навіть виробництвом пов'язані з інформаційними технологіями. Особливу роль відведено інформаційно-комунікаційним технологіям, що впливають та забезпечують інтеграційні процеси на різних рівнях сучасного підприємства, а також є основою його диджиталізації.

Як приклад можна привести застосування дистанційного керування стаціонарними та рухомими об'єктами виробництва. Проводяться дослідження щодо можливостей передачі цифрової інформації в екстремальних умовах виробництва з використанням відповідних пристроїв зв'язку з об'єктами (ПЗО), які призначені саме для сполучення первинної апаратури і виконавчих механізмів контрольованого об'єкта та технологічного процесу з обчислювальними засобами системи [1; 4].

Але відкритість систем передбачає загрозу їх інформаційній та кібербезпеці. Існує нормативний документ, що регламентує системи

технічного захисту інформації, – це «Тимчасові рекомендації щодо технічного захисту інформації від утрат по каналах побічних електромагнітних випромінювань та наведень (ТР ТЗІ – ПЕМВН-95)», затверджені Наказом Державної служби України з питань технічного захисту інформації від 09.06.1995 № 25, зі змінами згідно з Наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 03.11.2011 № 93/ДСК. Дійсний нормативний документ призначений для організації захисту інформації з обмеженим доступом від утрат по каналах побічних електромагнітних випромінювань і наведень (ПЕМВН) [7].

Отже, маємо проблему, пов'язану з надійною і безпомилковою роботою каналу передачі інформації на тлі існуючих електромагнітних зв'язків і завад в умовах виробництва, наявність яких впливає на якість його роботи.

Метою роботи є дослідження виробничих завад, що впливають на якість роботи засобів контролю технологічних параметрів, а також пристроїв та елементів системи, що забезпечують їхній зв'язок з об'єктом виробництва.

Основна ідея роботи полягає у тому, що для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз виробничих завад та оцінити вплив цих деструктивних чинників металургійного виробництва на якість зв'язку (надійність передачі інформації).

Методики та методи дослідження. Завадами взагалі називаються будь-які небажані сторонні стосовно діючого каналу зв'язку електромагнітні й електричні коливання, що призводять до погіршення якості його функціонування.

Зроблено аналіз промислових оптичних та електромагнітних перешкод, що ускладнюють роботу первинних перетворювачів, та заходів, що підвищують їхню перешкодостійкість [3; 6].

Аналіз і вивчення завад зовнішнього середовища припускає їх класифікацію за тими чи іншими ознаками.

За статичними властивостями завади розподіляють на синусоїдальні, флуктуаційні та

імпульсні. Останнім часом відповідно до рекомендацій Міжнародного консультативного комітету з радіо виділяють ще один вид, що поєднує властивості флуктуаційних і імпульсних завад, – квазіімпульсні.

Флуктуаційні завади – коливання (випадкові відхилення) напруги, заряду або струму в електричних ланцюгах і лініях зв'язку, зумовлені як дискретною природою електрики (дробовий шум) і тепловим рухом носіїв заряду, так і випадковими змінами параметрів ланцюгів та ліній. Імпульсні завади – це одиночні імпульси або їх послідовність, довільні за формою і різні за амплітудою, що з'являються у випадкові моменти часу, причому для послідовності імпульсів інтервали між ними, як правило, більше за тривалість самих імпульсів. Експериментальна статистика свідчить, що велика група індустриальних завад може бути віднесена до цього виду.

За характером впливу розрізняють адитивні та мультиплікативні завади. Адитивні завади алгебраїчно додаються у прийомному пристрої з корисними сигналами. Більшість із відомих видів завад, такі як теплові шуми, дробовий ефект, атмосферні, космічні й індустриальні завади, може бути віднесено до цього класу. Дія мультиплікативних завад складається у модуляції за випадкового закону амплітуди і фази корисного сигналу. Завади, що діють на лінії зв'язку на підприємстві, мають адитивний характер.

Канал передачі інформації працює в умовах виробництва, де розповсюджено електромагнітні завади. Ці завади формуються електричними й електромагнітними пристроями в діапазоні радіочастот, формуючи індустриальні радіозавади в межах усього підприємства [4].

Індустриальні радіозавади також утворюються електромобільним транспортом, лініями електропередачі та іншим устаткуванням і займають виняткове місце серед інших ненавмисних радіоперешкод. Більшість із них характеризується суцільним спектром у діапазоні радіочастот. Їхні джерела досить щільно розміщені в просторі, часто в безпосередній близькості від радіоелектронних засобів. Тому, незважаючи на меншу потужність на радіочастотах порівняно з радіостанціями, індустриальні радіозавади значною мірою визначають електромагнітну обстановку зовнішнього виробничого середовища, а їх зменшення або усунення є одним з основних завдань у забезпеченні нормальних умов роботи електронного обладнання, вимірювальних перетворювачів і каналу передачі даних.

Пристрої, що є джерелом індустриальних завад, можна розділити на:

- генератори регулярних височастотних коливань;
- генератори паразитних електромагнітних коливань із суцільним спектром.

Використання кодування сигналів дає змогу захистити інформацію, що передається каналом від височастотних завад. Ба більше, інформаційні сигнали мають малу потужність, через що й самі апаратні засоби каналу не відчують на собі їхній вплив.

Значні електромагнітні завади створюються електрообладнанням, електроінструментом та електричними мережами, а саме дією комутуючих пристроїв, що входять до їхнього складу. Подібні завадоутворюючі елементи є як у механізмах і приладах, у яких комутуючі елементи виконують корисні функції, так і в електричних пристроях і мережах з електричними дефектами (неякісними контактами, пробоями і замиканнями ланцюгів, перегоранням запобіжників, світильників тощо).

Якщо аналізувати внутрішні завади, то, наприклад, у ПЗО переважно використовуються ультракороткі радіохвилі, а для них характерною завадою є випадкова похибка типу «білого шуму» [4].

До зовнішніх завад відносять електромагнітні завади індустриального та атмосферного походження, енергія яких зосереджена в низькому радіодіапазоні (довгі та середні радіохвилі). Вони створюються промисловими установками через різкі зміни електричних режимів промислового обладнання.

На рис. 1 показано різновиди збурюючих впливів різної природи та їхній вплив на інформаційний канал [5].

Звісно, передбачити появу певного виду завади або перешкоди корисному сигналу неможливо, бо залежність між ними відсутня. Тому проблеми, пов'язані з виявленням корисного сигналу на тлі завад, вирішуються збільшенням відношення «сигнал/перешкода». Треба враховувати, що підвищення потужності корисного сигналу, наприклад збільшення кількості імпульсів або їх ширини, зменшує швидкість передачі інформації та збільшує енергозатрати в каналі. Відомо, що використання даних у цифровому форматі вирішує зазначені проблеми застосуванням кодування інформаційних сигналів.

Відкритим залишається питання використання інформаційного сигналу, що володіє властивостями, відмінними від існуючих у каналі завад. Використання такого інформаційного



Рис. 1. Види збурюючих впливів та їхній вплив на інформаційний канал

сигналу зняло би питання щодо застосування сигналу надмірної потужності.

Результати. Дослідження індустриальних оптичних і електромагнітних завад, а також особливостей реалізації каналу розповсюдження оптичного сигналу (КРОС) в екстремальних умовах металургійного виробництва показали, що саме канал має велику різноманітність складників, які визначають втрати енергії оптичного інформаційного сигналу. Втрати енергії оптичного інформаційного сигналу в елементах первинного перетворювача (датчика) непорівнянні за величиною з втратами у зовнішньому середовищі [6].

Тому доцільно навести результати дослідження втрат енергії сигналу лише у КРОС.

Різновиди та відповідний коефіцієнт ослаблення оптичного сигналу ($K_{o.c.}$) відображено в табл. 1. Різновиди оптичних перешкод та джерела їх утворення в умовах металургійного виробництва, отримані за результатами досліджень, представлено в табл. 2 [5].

Зрозуміло, що загальна дія оптичної завади в умовах металургійного виробництва складатиметься, передусім, із випромінювання палаючого енергоносія ($\xi_{ф1}$) та нагрітих металевих виробів ($\xi_{опт.о}$). Саме ці завади є найбільш інтенсивними і максимально впливають на інформаційний сигнал. На їхньому тлі виробниче освітлення ($\xi_{опт.осв}$) та фонове засвічення від обладнання ($\xi_{опт.ф2}$) створюють розсіяне

Таблиця 1

Різновиди середовища розповсюдження та відповідний коефіцієнт ослаблення оптичного сигналу ($K_{o.c.}$)

Зовнішнє середовище	Канал розповсюдження оптичного сигналу (аналог)
Приземна атмосфера в індустриальних районах, димка	Цехове середовище: $K_{o.c.} = -(10...15)$ дБ/км
Оптична локація у приземній атмосфері	Цехове середовище з відражаючими поверхнями: $K_{o.c.} = -(30...50)$ дБ/км
Щільний туман у приземній атмосфері	Цехове середовище з водяними парами: $K_{o.c.} = -(100...120)$ дБ/км
Середовище з низькотемпературною плазмою, газами, аерозолями	Середовище термічних печей: $K_{o.c.} = -(150...250)$ дБ/км
Оптоволоконний канал зв'язку	Оптичне волокно: $K_{o.c.} = -(3...10)$ дБ/км

Таблиця 2

Різновиди оптичних завад промислового походження

Позначення завади	Металургійне виробництво
$\Delta\lambda \geq 1.6$ мкм; $\Delta f = 0 \dots 300$ Гц $\xi_{\text{опт.о.}}$	Випромінювання нагрітих виробів та металу, розплавлений метал
$\Delta\lambda \geq 1.4$ мкм; $\Delta f = 0 \dots 300$ Гц $\xi_{\text{ф1}}$	Випромінювання палаючих газових факелів
$\Delta\lambda \geq 1.2$ мкм; $\Delta f = 0 \dots 300$ Гц $\xi_{\text{ф2}}$	Випромінювання факелів абразивних металевих відходів під час шліфування
$\Delta\lambda \geq 1.6$ мкм; $\Delta f = 0 \dots 300$ Гц $\xi_{\text{опт.осв.}}$	Випромінювання цехового освітлення
$\Delta\lambda = 1.6$ мкм; $\Delta f = 0 \dots 300$ Гц $\xi_{\text{опт.фт.}}$	Випромінювання нагрітої футеровки

випромінювання і не мають суттєвого впливу на інформаційний канал.

До зовнішніх належать також електромагнітні перешкоди індустріального та атмосферного походження, енергія яких зосереджена переважно в низькочастотному радіодіапазоні (довгі та середні радіохвилі). Вони створюються промисловими установками через різкі зміни електричних режимів промислового обладнання, комунікації електродвигунів, роботи електротранспорту, а також через переривання, зумовлене як роботою пускорегулюючої апаратури, так і низькою надійністю апаратів комутації.

Частотні діапазони зовнішніх електромагнітних перешкод, установлені експериментально, показано на рис. 2.

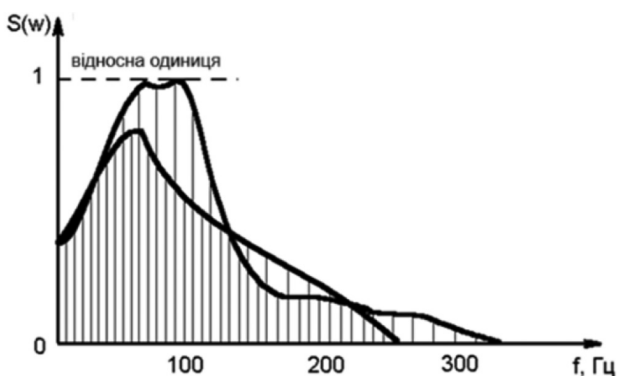


Рис. 2. Частотні спектри зовнішніх оптичних завад

Частотна оцінка перешкод [5] аналітичним та експериментальним шляхами показала, що найбільш інтенсивна перешкода – випромінювання гарячих газових смолоскипів у термічних пристроях і факелів абразивно-металевих відходів є гладкою низькочастотною перешкодою, максимум потужності якої зосереджений у середовищі 30...60 Гц, а частота середовища сягає 100...300 Гц. Оптична завада вважається низькочастотною вузькосмуговою.

Результати проведених досліджень індустріальних перешкод у теплотехнічних цехах мають значення за вибору оптичних випромінювачів і фотоприймальних пристроїв (ФПП) і навіть вирішення проблеми електромагнітної сумісності перетворювачів із цеховими електроустановками (рис. 3).

Оптичний діапазон сумарної оптичної перешкоди визначається температурним режимом об'єктів, що контролюються (факелів, футеровки, металу, ламп розжарювання), випромінювання яких неоднорідне як за співвідношенням «газ – повітря», так і за товщиною полум'я.

Таким чином, на ФПП діє світловий потік, що визначає інтенсивність перешкоди $\xi(t)$. Дослідження показали, що для оцінки впливу різних видів оптичних перешкод на перетворювач, які є стаціонарним та ергодичним випадковим процесом, необхідно мати у своєму розпорядженні основні статистичні характеристики їх випромінювання [5].

Поєднання спектральних характеристик випромінювання імпульсного випромінювача на основі інфрачервоного світлодіоду ($\lambda_{\text{max}} = 0.88$ мкм) як найбільш імовірного джерела оптичного сигналу $S(\lambda)$, характеристик оптичних перешкод $\xi(\lambda)$ з $\lambda_{\text{max}} = 1.2$ мкм, а також характеристики прозорості середовища $K_k(\lambda)$ (рис. 4) показує можливість суттєвого рознесення оптичних діапазонів сигналу та перешкод за використання вікон прозорості.

Основна енергія випромінювання має довжину хвиль $\lambda \geq (1.1 \dots 1.2)$ мкм. Таким чином, верхня межа робочого оптичного діапазону для ФПП є $\lambda < 1.1$ мкм зміщена щодо існування оптичних перешкод промислового походження. Нижня межа обмежена діапазоном випромінювачів.

Аналіз спектрального складу випромінювання можливих джерел оптичних перешкод, а також обмежень, що накладаються

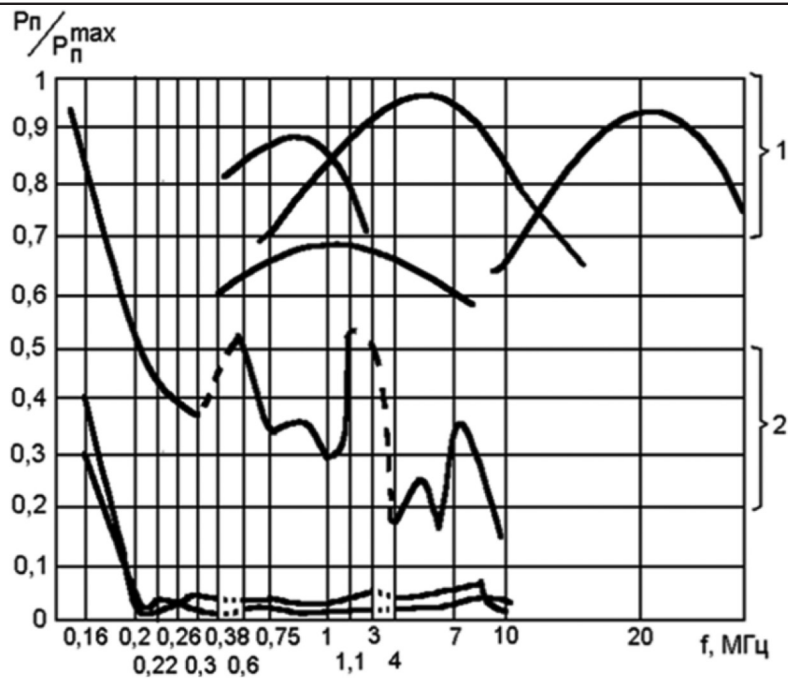


Рис. 3. Частотні спектри зовнішніх електромагнітних завад:
1 – теоретичні; 2 – практичні

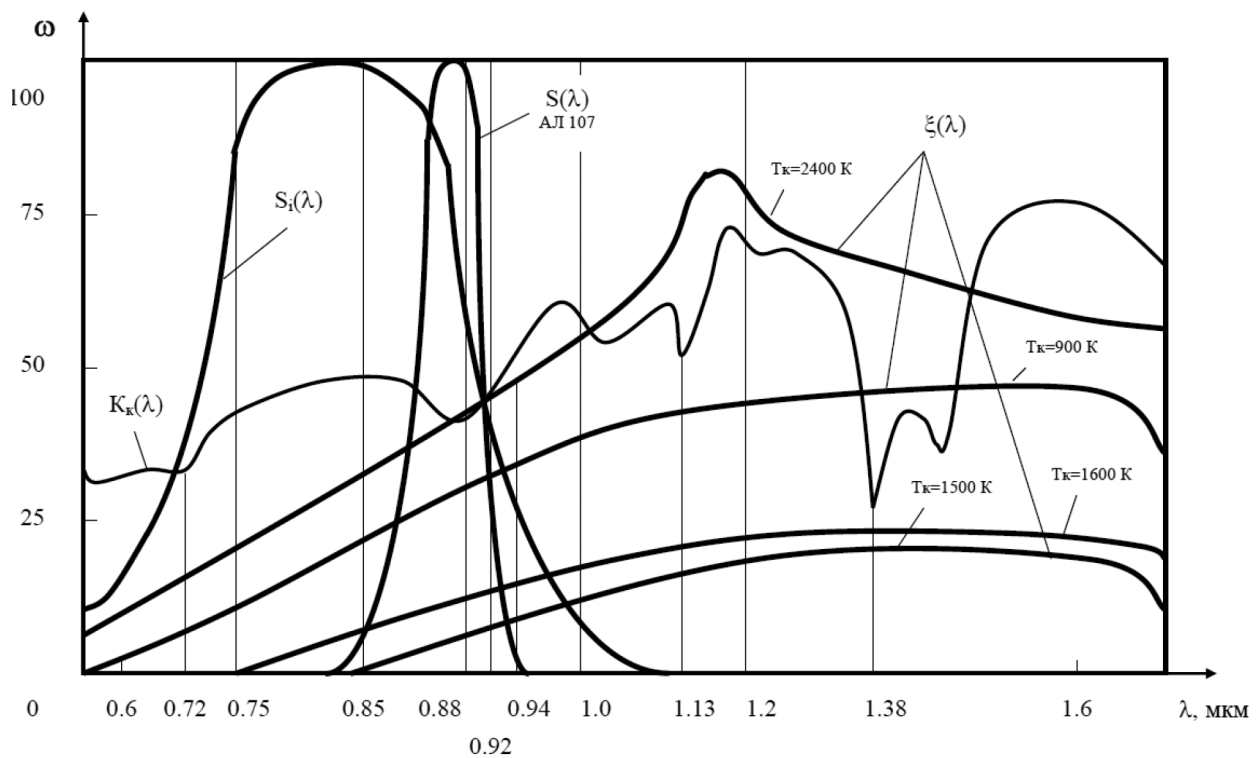


Рис. 4. Суміщені спектральні характеристики сигналу $S(\lambda)$, завад, каналу розповсюдження $K_k(\lambda)$ та кремнієвого фотодіоду

на застосування певних діапазонів довжин хвиль, дає змогу віддати перевагу сигналам, спектр яких розташований у видимому діапазоні (0.4...0.75 мкм) із захопленням частини ближнього інфрачервоного діапазону (0.8 ... 0.85 мкм).

Отже, для отримання мінімальних утрат енергії зондувального випромінювання доцільно використовувати оптичний сигнал із ближнім інфрачервоним оптичним діапазоном (0.75...0.92 мкм). Це зумовлено тим, що в зазначеному діапазоні ослаблення випромінювання

пилом, димом, парами води мінімальне та діапазон оптичних перешкод зміщений від діапазону сигналу.

Відомо, що найкращі показники завадостійкості має короткий імпульс. Отже, передавач оптичного сигналу повинен забезпечувати генерацію коротких оптичних імпульсів у діапазоні 0.7...1.1 мкм за необхідної потужності випромінювання.

Висновки. Аналіз результатів дослідження спектральних характеристик виробничих завод показав, що застосування широкого частотного спектру імпульсного інформаційного сигналу може призвести до зниження стійкості його до перешкод, що діють у каналі. Цей факт необхідно враховувати під час реалізації каналу передачі інформації та розроблення первинних перетворювачів.

Загалом боротьба з перешкодами зводиться до таких основних (типових) заходів:

- зменшення інтенсивності дії перешкод на інформаційний канал;
- збільшення відношення потужності корисного сигналу до перешкоди;

- вибору спеціальної форми сигналів;
- удосконалення приймачів випромінювання.

Але особливості виробничого процесу накладають певний відбиток на склад і тип завод, що діють на корисний сигнал під час його передавання інформаційним каналом. Також треба враховувати, що оптичний інформаційний сигнал має типову потужність, яка залежить від типу випромінювача (наприклад, характеристик світлодіоду). Отже, якщо впливати на саму заводу й збільшувати потужність окремого сигналу неможливо, то треба захистити канал, сам інформаційний сигнал або одночасно і те і друге.

Саме тому пошук спеціальних сигналів, що мають високу стійкість до перешкод під час їх передачі, а також удосконалення і розроблення принципово нових структур приймальних пристроїв, що дають змогу виявляти інформаційні сигнали за значних за інтенсивністю перешкод, є актуальним завданням, яке треба вирішувати для підвищення надійної і безпомилкової роботи каналу передачі інформації в екстремальних умовах виробництва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Суботін О. В., Петрухін Я. І., Ситнік О. С. Аналіз можливостей передавання цифрової інформації у пристрої для передавання слябів НК1031. *Науковий журнал «Метінвест політехніки». Серія «Технічні науки»*. 2025. № 3. С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-12>
2. Суботін О. В. Інформаційне забезпечення систем управління прокатних станів. *International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education»* : conference proceedings, november 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. Vol. 2. P. 68–71. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-102>
3. Суботін О. В., Петрухін Я. І., Новіков Д. С. Аналіз оптичних та електромагнітних промислових завод, що ускладнюють роботу засобів автоматизації. *Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод* : матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції, 17–19 квітня 2025 р. / за заг. ред. О. Ф. Тарасова. Краматорськ ; Тернопіль : ДДМА, 2025. С. 239–242. ISBN 978-617-7893-00-3 (<http://cit.dgma.donetsk.ua/materials.html>). paper_citae_2025.pdf
4. Суботін О. В., Петрухін Я. І., Сергієнко В. Ю. Особливості керування промисловим обладнанням бездротовим способом на тлі виробничих завод. *International scientific conference «MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education»* : conference proceedings, november 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. Vol. 2. P. 92–95. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-146>
5. Суботін О. В. Підвищення достовірності контролю технологічних параметрів і швидкодії інформаційно-вимірювальних систем прокатних станів : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16. Донецьк, 2000. 216 с.
6. Суботін О. В., Сус С. П. Аналіз каналу розповсюдження оптичного сигналу для використання первинних перетворювачів фотоелектричного типу. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції, 28–31 травня 2025 р. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ ; Тернопіль ; Свалява : ДДМА, 2025. С. 219–220. ISBN 978-617-7893-02-7
7. Тимчасові рекомендації з технічного захисту інформації від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань і наводок (ТР ПЕМВН-95) : Наказ Державної служби України з питань технічного захисту інформації від 09.06.1995 № 25. Дата оновлення: 03.11.2011 № 93/ДСК. URL: <https://usts.kiev.ua/wp-content/uploads/2020/07/nd-tzi-tr-pemvn-95.pdf> (дата звернення: 13.03.2025).

REFERENCES:

1. Subotin, O. V., Petrukhin, Ya. I., & Sytnik, O. S. (2025). Analiz mozhlyvostey peredavannya tsyfrovoyi informatsiyi v prystroyi dlya peredavannya slyabiv NK1031 [Analysis of the possibilities of transmitting digital information in the device for transferring slabs NK1031]. *Naukovyy Zhurnal Metinvest Politekhniky. Seriya: Tekhnichni nauky – Scientific Journal of Metinvest Polytechnics. Series: Technical Sciences*, No. 3, Pp. 94–101. [in Ukrainian].
2. Subotin, O. V. (2023). Informatsiyne zabezpechennya system upravlinnya prokatnykh staniv [Information security of rental management systems]. International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”: conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvija: Baltija Publishing. Vol. 2. Pp. 68–71. [in Ukrainian].
3. Subotin, O. V., Petrukhin, Ya. I., & Novikov, D. S. (2025). Analiz optychnykh ta elektromahnitnykh promyslovykh zavod, shcho uskladnyuyut' robotu zasobiv avtomatyzatsiyi [Analysis of optical and electromagnetic industrial interference that complicates the operation of automation equipment]. Modern information technologies, automation equipment and electric drive: materials of the IX All-Ukrainian scientific and practical conference, April 17–19, 2025. Kramatorsk – Ternopil: DSEA. Pp. 239–242. [in Ukrainian].
4. Subotin, O. V., Petrukhin, Ya. I., & Sergienko, V. Yu. (2024). Osoblyvosti keruvannya promyslovym obladdannyyam bezdrovovym sposobom na foni vyrobnychyykh zavod [Features of wireless control of industrial equipment against the background of production interference]. International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”: conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvija : Baltija Publishing. Vol. 2. Pp. 92–95. [in Ukrainian].
5. Subotin, O. V. (2000). Pidvyshchennya dostovirnosti kontrolyu tekhnolohichnykh parametru i shvydkodiyi informatsiyno-vymiryval'nykh system prokatnykh staniv: dys. na zdobuttya naukovooho stupenya kand. tekhn. nauk: 05.11.16 [Increasing the reliability of control of technological parameters and the speed of information and measuring systems of rolling mills: dissertation for the degree of candidate of technical sciences: 05.11.16]. Donetsk, 216 s. [in Ukrainian].
6. Subotin, O. V., & Sus, S. P. (2025). Analiz kanalu rozpovsyudzhennya optychnoho syhnalu dlya vykorystannya pervynnykh peretvoryuvachiv fotoelektrychnoho typu [Analysis of the optical signal propagation channel for the use of primary photoelectric converters]. Heavy mechanical engineering. Problems and development prospects. Materials of the XXIII International Scientific and Technical Conference of May 28–31, 2025. Kramatorsk – Ternopil – Svalyava: DSEA. Pp. 219–220. [in Ukrainian].
7. Tymchasovi rekomendatsiyi z tekhnichnoho zakhystu informatsiyi vid vytoku kana-lamy pobichnykh elektromahnitnykh vyrominyuvan' i navodok (TR PEMVN-95): zatv. nakazom Derzhavnoyi sluzhby Ukrayiny z pytan' tekhnichnoho zakhystu informatsiyi vid 09 chervnya 1995 roku № 25. Data onovlennya: 03.11.2011 № 93/DSK [Temporary recommendations on technical protection of information from leakage through channels of side electromagnetic radiation and interference (TR PEMVN-95): approved by order of the State Service of Ukraine for Technical Protection of Information dated June 9, 1995 No. 25. Update date: 03.11.2011 No. 93/DSK]. [in Ukrainian].