

УДК 681.326

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-12>

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПЕРЕДАВАННЯ ЦИФРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ПРИСТРОЇ ДЛЯ ПЕРЕДАВАННЯ СЛЯБІВ НК1031

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

Петрухін Ярослав Ігорович,

аспірант

Донбаської державної машинобудівної академії

ORCID ID: 0009-0002-8208-6225

Ситник Олексій Сергійович,

студент групи 151-22-1

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

У статті з'ясовано, що в умовах переустаткування всіх підприємств на основі ресурсощадних технологій і комп'ютеризації їхня робота все ще пов'язана зі значними матеріальними збитками в результаті недостатнього розвитку транспортної, технологічної системи супроводу металу й режимної автоматизації. Установлено, що робота системи зв'язку з рухомим об'єктом ускладнена впливом зовнішніх факторів металургійного виробництва завдяки зниженню якості зв'язку. Проблема надійної і безперебійної роботи каналу передавання інформації тісно пов'язана з існуванням паразитних електромагнітних зв'язків і завад, наявність яких погіршує ефективність його роботи. Тому побудова завадостійкого каналу передавання даних та пропозиція апаратної реалізації пристрою зв'язку з об'єктом є актуальними завданнями. Відповідно до міжнародного стандарту EN 50170, для промислової мережі (PROFIBUS) установлюються певні вимоги до швидкості передавання сигналів (1500 Кбіт/с) та довжини сегменту (200 м), які пристрій зв'язку з об'єктом повинен забезпечити. Використання наявних пристроїв зв'язку з об'єктом неможливе, оскільки жоден з них не підходить за технічних чи економічних умов. Як середовище передавання даних чи команд у системах дистанційного керування часто використовують провідні лінії електрозв'язку, радіоканал, оптоволоконну лінію, оптичний сигнал або інфрачервоні промені. Установлено, що використання ультракоротких радіохвиль є найбільш прийнятним для застосування в пристрої зв'язку з об'єктом у цих умовах роботи. Такий вид зв'язку може бути реалізований на звичайній радіостанції, розрахунок параметрів якої має відомий алгоритм. Прогрес останніх років в напрямі підвищення пропускної здатності каналів помітно пов'язаний з розвитком технології передавання цифрових даних, їх синхронізації, ефективного кодування та надійної передавання.

Ключові слова: металургійне виробництво, дистанційне керування, пристрій зв'язку з об'єктом, пристрій для передавання слябів, цифрова інформація, завадостійкість.

Subotin Oleg, Petrukhin Yaroslav, Sytnyk Oleksii. Analysis of the possibilities of transmitting digital information in the device for transmitting slabs NK1031

The article found that in the conditions of re-equipment of all enterprises based on resource-saving technologies and computerization, their work is still associated with significant material losses as a result of insufficient development of the transport, technological system of metal support and regime automation. It was established that the operation of the communication system with a moving object is complicated by the influence of external factors of metallurgical production due to the reduction of the quality of communication. The problem of reliable and uninterrupted operation of the information transmission channel is closely related to the existence of parasitic electromagnetic connections and interference, the presence of which impairs the efficiency of its operation. Therefore, the construction of an interference-resistant data transmission channel and the proposal of a hardware implementation of the communication device with the object are urgent tasks. According to the international standard EN 50170 for the industrial network (PROFIBUS), certain requirements are established for the speed of signal transmission (1500 Kbit/s) and the length of the segment (200 m), which the communication device with the object must provide. The use of existing communication devices with the object is not possible, since none of them is suitable under technical or economic conditions. Wired communication lines, a radio channel, an optical fiber line, an optical signal or infrared rays are often used as a medium for transmitting data or commands in remote control systems. It has been established that the use of ultrashort radio waves is the most appropriate for use in a communication

device with an object under these operating conditions. This type of communication can be implemented on an ordinary radio station, the calculation of whose parameters has a well-known algorithm. The progress of recent years in the field of increasing the bandwidth of channels is significantly related to the development of digital data transmission technology, their synchronization, effective coding and reliable transmission.

Key words: metallurgical production, remote control, object communication device, slab transfer devices, digital information, interference immunity.

Вступ. Рациональне використання металу, економія ресурсів і підвищення якості продукції – найважливіші народногосподарські завдання. Їх необхідно виконувати на всіх етапах металургійного виробництва шляхом достовірного й оперативного контролю за перебігом технологічного процесу [1].

Металургія відрізняється складністю й розмаїтістю технологічних процесів. Це визначає характер її автоматизації. Нині основними напрямками в комплексній автоматизації ливарних цехів є ієрархічна побудова системи керування виробництва загалом, створення локальних систем автоматичного керування шляхом комплексної автоматизації окремих ділянок технологічної лінії проходження металу, організація контролерного керування всім комплексом механізмів, починаючи з ківша для розливання металу й завершуючи краном для передавання слябів на склад або прокатний стан, а також створення інформаційно-вимірювальної системи збору, обробки, збереження і видавання керівної та статичної інформації [2].

З іншого боку, швидко розвиваються телекомунікаційні технології як один із напрямів сучасної науки й техніки. Сучасне виробництво вже неможливо представити без неї.

Мета роботи – розробити систему зв'язку з рухомим об'єктом, побудувати канал

передавання даних та пропозицію апаратної реалізації пристрою зв'язку з об'єктом.

Основна ідея роботи полягає в тому, що для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати способи передавання цифрової інформації, вибрати спосіб, що дасть змогу реалізувати на його основі пристрій зв'язку з об'єктом, а також оцінити вплив факторів металургійного виробництва на якість зв'язку.

Матеріали та методи дослідження. Пристрій для передавання слябів (далі – ППС) призначено для прийому слябів з рольгангів видачі двоструменевих установок безперервного розливання стали (далі – УБРС) і транспортування їх у зону складування (накоплювач) і назад. ППС за час циклу (150 с) виконує захоплення сляба на одному зі струмків УБРС, транспортування його в накоплювач, укладання в накоплювач і повернення на наступний струмок. За такий же період часу сляби передаються ППС із накоплювача на рольганги видачі УБРС для завантаження їх на рольганг-візок. Пристрій зв'язку з об'єктом (далі – ПЗО) призначений для сполучення первинної апаратури й виконавчих механізмів контрольованого об'єкта та технологічного процесу з обчислювальними засобами системи.

Зовнішній вигляд ППС НК 1031 представлено на рис. 1.

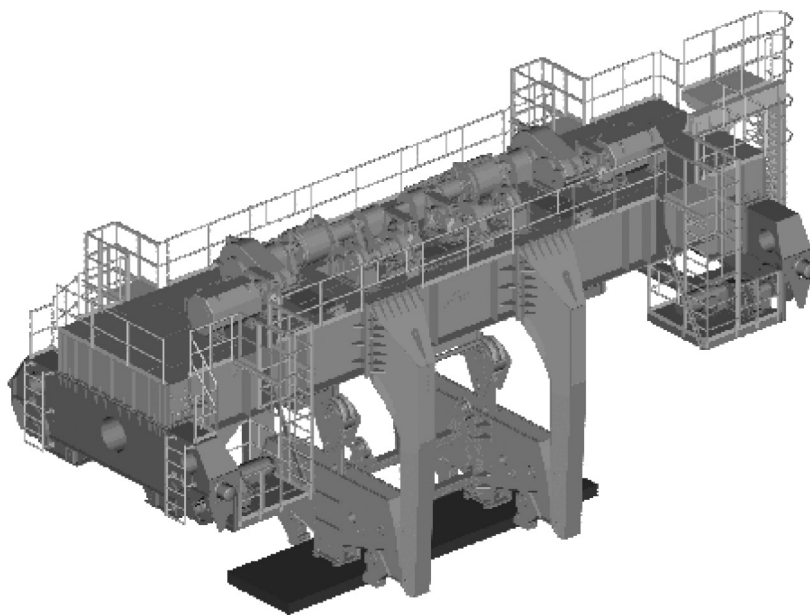


Рис. 1. Зовнішній вигляд ППС НК 1031

Таблиця 1

Основні технічні характеристики модуля ILM

Технічний параметр	Значення
Швидкість передавання даних	9,6 Кбіт/с ... 1,5 Мбіт/с
Під'єднання сегментів мережі	Двополюсний термінальний блок
Під'єднання ланцюга живлення та ланцюга сигнальних контактів	Чотириполюсний термінальний блок
Напруга живлення	= 24 В
Потужність	7,5 Вт
Ступінь захисту	IP 65
Довжина хвилі ІЧ-випромінювання	880 нм
Довжина каналу зв'язку	0,5... 15 м
Допустимий температурний режим	0... +60

Системи дистанційного керування знайшли широке застосування в сучасних радіоелектронних пристроях: управління технологічними процесами, охоронні системи, системи обмеження доступу в приміщення, ідентифікаційні системи тощо. Як середовище передавання даних (команд) найчастіше використовують – лінії зв'язку, радіоканал, провідний канал (оптоволоконна лінія), оптичний сигнал або інфрачервоні (ІЧ) промені [3].

Відповідно до міжнародного стандарту EN 50170 для промислової мережі (PROFIBUS) установлюють такі вимоги: швидкість передавання сигналів – 1500 Кбіт/с; довжина сегмента – 200 м; загальна довжина мережі – 2000 м при величині сегмента – 10 м.

Отже, ПЗО повинен пропускати таку кількість інформації. Використання наявних ПЗО неможливе, оскільки жоден із них не підходить за технічних чи раціонально-економічних умов.

Наприклад, фірма Siemens має в асортименті безпроводний модуль ILM (Infrared Link Module), принцип дії якого базується на використанні інфрачервоного випромінювання. Конфігурацію модуля наведено на рис. 2, а його технічну характеристику – у табл. 1.

Як видно з таблиці, використання ILM є неможливим, оскільки цей пристрій має обмеження по довжині каналу зв'язку до 15 м, тоді як максимальна відстань може досягати 40 м.

Ще фірма CAVATEK займається індивідуальною розробкою пристроїв зв'язку та застосуванням у виробництві кошових металів, як-от золото як середовище передавання та ртуть як

знімач, робить цю пропозицію не прийнятною з економічного боку.

Далі проводиться аналіз способів побудови каналу зв'язку [4–5].

Телефонний зв'язок, будучи найбільш доступним, зручним і масовим видом електрозв'язку, дає змогу вести переговори людям, що перебувають одне від одного майже на будь-яких відстанях за допомогою порівняно простих і дешевих систем, що реалізують цей вид зв'язку. Саме тому сучасні телефонні мережі значно потужніші від мереж інших видів електрозв'язку.

Теорема Шеннона обмежує граничну пропускну здатність каналу I із заданою смугою пропускання F і відношенням сигнал/шум S/N :

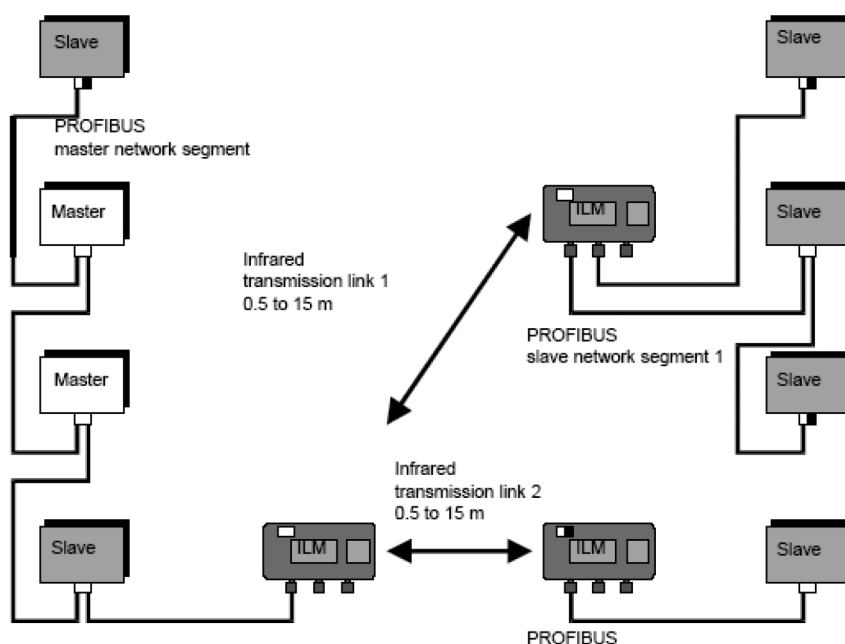


Рис. 2. Схема конфігурації безпроводного модуля фірми Siemens

$$I = F \cdot \log_2(1 + S/N), \quad I/F \approx 1,44 \cdot S/N. \quad (1)$$

Для стандартного телефонного каналу $F = 3$ кГц, $N/S = 30$ db, отже, теоретична межа для публічної телефонної мережі, що комутується, дорівнює приблизно 30 Кбіт/с. Ослаблення для телефонних скручених пар становить близько 15 дБ/км, додаткові обмеження виникають через перехресні наведення.

Якщо розглянути сигнал зі смугою F , то відповідно до теореми Найквіста частота стробування повинна дорівнювати або бути більш ніж $2F$. Використовуючи великі частоти, стробування можна одержати при відтворенні більш високої гармоніки, але вони за заданої смуги пропускання все одно будуть подавлені. За N дискретних рівнях перетворення максимальний потік даних становитиме $2F \log_2(N)$ біт/с, що за $F = 4$ кГц/с і $N = 256$ дасть 64 Кбіт/с. Практично при $F = 4$ кГц навіть за відсутності шуму не можна одержати швидкість передавання більш 8 Кбіт/с (якщо передається один біт за такт).

Як видно, використання ліній зв'язку не дає рішення побудови ПЗО через безліч факторів: мала пропускна здатність $I \ll I_{\text{зад}}$, мала завадостійкість лінії зв'язку, особливо від температури. Отже, використання лінії зв'язку як каналу зв'язку неможливо.

Оптоволоконні лінії зв'язку (далі – ОВЛЗ) мають низку істотних переваг порівняно з лініями зв'язку на основі металевих кабелів. До них належать: велика пропускна здатність, мале загасання, малі маса й габарити, висока перешкодозахищеність, надійна техніка безпеки, майже відсутні взаємні впливи.

В ОВЛЗ застосовують електромагнітні хвилі оптичного діапазону. Видиме оптичне випромінювання лежить у діапазоні довжин хвиль 380–760 нм. Практичне застосування в ОВЛЗ одержав інфрачервоний діапазон, тобто випромінювання з довжиною хвилі більш ніж 760 нм.

Принцип поширення оптичного випромінювання уздовж оптичного волокна (далі – ОВ) заснований на відображенні від границі середовищ з різними показниками заломлення. Оптичне волокно виготовляють з кварцового скла у виді циліндрів зі сполученими осями й різними коефіцієнтами заломлення.

Провідний канал є гарним рішенням проблеми побудови пристрою зв'язку з об'єктом, але в умовах металургійного устаткування його прокладення стикається з великою імовірністю його механічного ушкодження і, як наслідок, довгого простою устаткування. Також досить висока вартість самого каналу змушує шукати шляхи для інших варіантів побудови ПЗО.

До інфрачервоного діапазону належать хвилі довжиною 0,75–1000 мкм, що займають проміжне положення між оптичними й міліметровими хвилями. Інфрачервоний діапазон поділяють на три види: ближнє інфрачервоне від 0,75 до 1,5 мкм; від 1,5 до 5,6 мкм; від 5,6 до 1000 мкм. Границі спектрів оптичних, інфрачервоних і міліметрових хвиль взаємно перекриваються. ІЧ-хвилі подібно до радіохвиль можуть проходити крізь деякі матеріали, непрозорі для оптичних хвиль. Але вони ослаблюються при проходженні атмосфери насиченої водяними парами й пилом. Подібно до радіохвиль, ці хвилі рефрагують у неоднорідній атмосфері. Випромінювальні тіла, якщо вони не є метою, створюють тло, що заважає роботі системи й виявляється як шкідливий шум.

До оптичного діапазону належать електромагнітні коливання з довжиною хвилі 0,39–0,75 мкм, сприймані людським оком. У видимій частині спектра на хвилях 0,4–0,76 мкм поглинання незначне, за довжини хвилі 0,76 мкм спостерігається поглинання в кисні. Основні фізичні властивості аналогічні до інфрачервоного випромінювання.

Перевагами оптичного випромінювання є висока реальна завадостійкість, висока перевагуюча здатність, надійність фотоелектричних приладів, гостра спрямованість випромінювання, відносна простота отримання оптичних сигналів, відсутність перевантаження.

Під час використання оптичного й ІЧ-діапазонів для цілей зв'язку перевагою є можливість передавати велику кількість інформації, оскільки спектр цих діапазонів досягає 10 МГц. Системи зв'язку виявляються завадостійкими завдяки застосуванню вузькосмугових фільтрів і великої спрямованості випромінювання.

Однак ІЧ та оптичні промені широко не поширені в металургії через відносно малий радіус дії та невелику завадостійкість від пилу, який у великій кількості насичує атмосферу ливарного цеху. Високі температури сприяють великій кількості похибок. Тому їх використання неможливе через власні особливості.

Принципова відмінність радіосистем передавання інформації полягає в тому, що умови поширення радіохвиль у радіолінії нестаціонарні, тобто піддані безперервним змінам, що залежать від часу й частоти. Однак передавання за допомогою радіохвиль у деяких випадках є єдиним методом зв'язку (наприклад, зв'язок з рухливими об'єктами), тому найбільш перспективне рішення використання радіоканалу за дистанційного керування автоматизованими об'єктами.

Усе це робить використання ультракоротких радіохвиль найбільш прийнятним для ПЗО в цих умовах роботи.

Цей вид зв'язку може бути реалізований на звичайній радіостанції. Для розрахунку параметрів станції використовують таку технологію.

Відповідно до рівняння дальності зв'язку потужність сигналу на вході приймача визначається:

$$P_{\text{свх}} = \frac{P_{\text{вип}} \gamma_E G S_E}{4\pi r^2}, \quad (2)$$

де $P_{\text{вип}}$ – потужність сигналу, що випромінює передавач; G – коефіцієнт спрямованої дії антени передавача; S_E – ефективна площа прийомної антени; r – відстань між передавачем та приймачем; γ_E – коефіцієнт, що враховує витрати енергії сигналу в середовищі завдяки поглинанню.

Коефіцієнт витрат визначається:

$$\gamma_E = 10^{-0.1ar}, \quad (3)$$

де a – коефіцієнт згасання, що визначає втрати на поглинання в децибелах на кілометр, залежить від фізико-хімічних властивостей середовища.

Результувальна спектральна щільність завад на вході приймача розраховується за формулою:

$$N_{0\Sigma}(f) = \sum_i N_{oi}(f), \quad (4)$$

де $N_{0\Sigma}$ – спектральна щільність випадкової завади.

Потужність усіх завад на вході приймача, що визначається в смузі частот Δf_E , дорівнює:

$$P_{\text{швх}} = \int_{f_0 - \frac{1}{2}\Delta f_E}^{f_0 + \frac{1}{2}\Delta f_E} N_{0\Sigma}(f) df, \quad (5)$$

де f_0 – частота, що несе.

Вираз можна представити у вигляді:

$$P_{\text{швх}} = \overline{N_{0\Sigma}(f)} \Delta f_E = N_{0\Sigma} \Delta f_E, \quad (6)$$

де $N_{0\Sigma}$ – середня спектральна щільність сумарної завади на вході приймача,

$$N_{0\Sigma} = \overline{N_{0\Sigma}(f)} = \frac{1}{\Delta f_E} \int_{f_0 - \frac{1}{2}\Delta f_E}^{f_0 + \frac{1}{2}\Delta f_E} N_{0\Sigma}(f) df, \quad (7)$$

З урахуванням виразів та відношення середньої потужності сигналу до середньої потужності шуму на вході приймача визначається за формулою:

$$\left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вип}} G S_E}{4\pi r^2 N_{0\Sigma} \Delta f_E} \exp(-0,23ar). \quad (8)$$

Для того щоб забезпечити необхідну ймовірність похибки під час передавання однієї двійкової одиниці інформації, необхідно мати енергетичне відношення «сигнал – шум»:

$$h_{\text{отр}}^2 = \frac{E_0}{N_{0\Sigma}} = \left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вх}} \tau_0 \Delta f_E. \quad (9)$$

Тоді необхідне відношення «сигнал – шум» на вході приймача:

$$\left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{тр}} = \frac{h_{\text{отр}}^2}{\tau_0 \Delta f_E}. \quad (10)$$

Для того щоб послабити вплив завад, що не враховані, необхідне відношення «сигнал – шум» беруть із запасом (системний запас):

$$\left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{тр}} = \frac{h_{\text{отр}}^2 \cdot \gamma_{\text{сист}}}{\tau_0 \Delta f_E}. \quad (11)$$

Лінія зв'язку забезпечуватиме передавання інформації із завадостійкістю не нижче заданої, необхідно, щоб виконувалась умова:

$$\left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вх}} \geq \left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{тр}}. \quad (12)$$

Звідси

$$\frac{P_{\text{вип}} G S_E}{4\pi r^2 N_{0\Sigma} \Delta f_E} \exp(-0,23ar) \geq \gamma_{\text{сист}} \frac{h_{\text{отр}}^2}{\tau_0}. \quad (13)$$

Пропускна здатність каналу визначається за формулою:

$$C = \frac{1}{\tau_0} \left[\log_2 n + p_{\text{ош}} \log_2 \frac{p_{\text{ош}}}{n-1} + (1 + p_{\text{ош}}) \log_2 (1 - p_{\text{ош}}) \right], \quad (14)$$

де n – основа первинного коду; $p_{\text{ош}}$ – ймовірність помилкового прийому інформаційного символу довжиною τ_0 .

За умови, що потрібна мала ймовірність помилкового прийому ($p_{\text{ош}} \ll 1$), вираз можна записати у вигляді:

$$C \approx \frac{\log_2 n}{\tau_0} = \max R_T \log_2 n, \quad (15)$$

де R_T – максимальна швидкість передавання інформації (біт/с).

Реальна швидкість передавання даних за умови того, що частина часу витрачається на передавання сигналів, що синхронізують, та на захисні інтервали між кодовими комбінаціями, визначається:

$$R = \gamma_R \max R_T = \frac{\gamma_R \cdot \log_2 n}{\tau_0}, \quad (16)$$

де γ_R – коефіцієнт, який враховує зменшення швидкості передавання.

Враховуючи вирази, можна записати:

$$\frac{P_{\text{ВІП}} G S_E}{4\pi r^2 N_{0\Sigma} \Delta f_E} \exp(-0,23ar) \geq \frac{\gamma_{\text{СИСТ}}}{\gamma_R} \frac{h_{0\text{ТР}}^2}{\log_2 n} R. \quad (17)$$

Цей вираз дає змогу розрахувати параметри лінії зв'язку.

Як прикладу за вищенаведеними виразами розрахуємо систему передавання інформації для ППС. Потужність передавача становить $P_{\text{ВІП}} = 7,5$ Вт, ефективна шумова температура приймача становить $T_E = 300$ К, робоча частота $f_0 = 2400$ МГц.

Повідомлення необхідно передати із заданою імовірністю помилки на один інформаційний символ $p_{\text{ОШ}}$:

$$p_{\text{ОШ}} = 0,5 \exp(-h_0^2), \quad (18)$$

звідси:

$$h_{0\text{ТР}}^2 \geq h_0^2 = \ln\left(\frac{1}{2 \cdot p_{\text{ОШ}}}\right). \quad (19)$$

Для виконання розрахунку за основним виразом треба визначити ефективну площину приймальної антени S_E та коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени G_A . З теорії антен відомо, що коефіцієнт спрямованої дії антени визначається за виразом:

$$G_A = \frac{4\pi S_A}{\lambda^2} \eta_A = \frac{4\pi S_E}{\lambda^2}, \quad (20)$$

де η_A – коефіцієнт, що враховує ефективність загальної площини розкриття антени S_A ; S_E – ефективна площина розкриття антени.

Величина коефіцієнта η_A залежить від типу та конструкції антени, в інженерних розрахунках приймається рівною 0,55. Виразивши площину антени S_A через діаметр D , отримаємо:

$$G = \eta_A \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2, \quad (21)$$

$$S_E = \eta_A \frac{\pi D^2}{4}. \quad (22)$$

Ураховуючи, що на частоті роботи поглинання енергії сигналу незначне і їм можна знехтувати, можна записати:

$$\left(\frac{\pi D_B D_3 \eta_A}{4\lambda r}\right)^2 \frac{P_{\text{ВІП}}}{N_0} \geq \frac{\gamma_{\text{СИСТ}}}{\gamma_R} \left(\frac{1}{2 \cdot p_{\text{ОШ}}}\right) R, \quad (23)$$

де λ – довжина хвилі $\left(\lambda = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2400 \cdot 10^6} = 0,125 \text{ м}\right)$; N_0 – спектральна щільність флуктуаційних шумів на вході приймача ($N_0 \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 50 \approx 0,7 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц); D_B , D_3 – діаметри антен,

передавача та приймача відповідно, у цьому проєкті вони мають майже однаковий діаметр, тобто $D_B = D_3 = D = 5$ см.

Відповідно до завданих параметрів відстань між об'єктом управління (мостовим краном) та пультом управління змінна величина, максимальна відстань становить $r = 40$ м. Необхідна швидкість передавання інформації становить $R = 1,5$ Мбіт/с. Для інженерних розрахунків коефіцієнт, що враховує зменшення швидкості передавання, приймають $\gamma_R = 0,75$, а коефіцієнт запасу системи – $\gamma_{\text{СИСТ}} = 4$. Імовірність помилок у прийнятих даних $p_{\text{ОШ}} < 10^{-10}$.

Підставляючи всі дані, отримаємо:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{3,14 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \cdot 0,55}{4 \cdot 0,125 \cdot 40}\right)^2 \frac{7,5}{0,7 \cdot 10^{-21}} \geq \\ & \geq \frac{4}{0,75} \ln\left(\frac{1}{2 \cdot 10^{-10}}\right) \cdot 1,5 \cdot 10^6, \end{aligned}$$

тобто:

$$3,124 \cdot 10^9 \geq 1,787 \cdot 10^8.$$

З виконання умови, можна сказати, що система, яка проєктується, буде повністю задовольняти всі технічні вимоги для системи передавання даних у пристрої для передавання слябів ППС НК 1031. Але треба зазначити, що для підтримки сталості ймовірності помилки $p_{\text{ОШ}}$ необхідно змінювати швидкість передавання даних R відповідно до зміни відстані r , тобто мати адаптивну лінію зв'язку.

Результати. Проблема надійної і безперебійної роботи каналу передавання інформації тісно зв'язана з існуванням ненавмисних (паразитних) електромагнітних зв'язків і завад, наявність яких погіршує ефективність його роботи.

Оскільки досліджувана лінія зв'язку функціонує у виробничих умовах, то основний вплив на неї роблять індустриальні радіозавади, під якими розуміють електромагнітні завади в діапазоні радіочастот, створювані електричними й електромагнітними пристроями, використовуваними у виробничих процесах і взагалі на всьому підприємстві.

Джерела індустриальних завад поділяють на дві групи: пристрої, що генерують відносно регулярні високочастотні коливання, та різні електричні пристрої, що не виробляють періодичних високочастотних сигналів, які створюють паразитні електромагнітні коливання із суцільним спектром.

Істотний вплив на лінію зв'язку робить друга група завад через те, що завдяки застосовуваному манчестерському кодуванню сигналів здійснюється захист процесу передавання інформації від високочастотних сигналів, а апаратні

засоби мережі не є сприйнятливими до них через слабку потужність цього виду завад.

До електричних пристроїв, що не виробляють періодичних високочастотних сигналів, належать високовольні лінії електропередавання і їхні підстанції, електрозварювання, динамомашини, генератори електричного струму, верстати з електроприводом, кранове устаткування, ліфти, індукційна і комутаційна апаратура, електроінструмент та інші джерела, що володіють великою потужністю і, відповідно, наводять могутні електромагнітні завади.

Найбільш характерними завадоутворювальними елементами в електричних механізмах і приладах є комутувальні пристрої, що замикають і розмикають різні ділянки електричних ланцюгів зі струмом.

Прогрес останніх років в напрямі підвищення пропускної здатності каналів помітно пов'язаний з розвитком технології передавання цифрових даних. Тут потрібно розв'язати проблеми синхронізації, ефективного кодування й надійної передавання. Що ширше імпульс, то більшу енергію він несе, то краще відношення «сигнал – шум», але то нижча гранична швидкість передавання [6].

Висновки. Установлено, що робота системи зв'язку з рухомим об'єктом ускладнена впливом

зовнішніх факторів металургійного виробництва через зниження якості зв'язку. Проблема надійної і безперебійної роботи каналу передавання інформації тісно пов'язана з існуванням паразитних електромагнітних зв'язків і завад, наявність яких погіршує ефективність його роботи.

Тому для ПЗО, що працюють в умовах металургійного виробництва, використання ультракоротких радіохвиль є найбільш прийнятним через такі причини:

- уже використовуються в техніці, мають високу надійність;
- фізична характеристика ультракоротких міліметрових радіохвиль подібна до характеристики оптичних сигналів, отже, їм властиві й позитивні якості оптичних сигналів;
- на відміну від оптичних сигналів ультракороткі радіохвилі можна використовувати в умовах непрямої видимості та навіть коли об'єкт загороджений іншим об'єктом чи групами.

Доведено, що найбільш перспективним є математичне рішення завадостійкості. Для цього можна використовувати стандартні протоколи передавання даних, наприклад V.42, який дасть змогу майже повністю усунути помилку, що спричиняє білий шум. Для боротьби із зовнішніми завадами можна використовувати, наприклад, режекторний фільтр.

ЛІТЕРАТУРА:

1. 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. Pp. 68–71.
2. Subotin O., Markov O., Razzhivin O. (2022). Study of the Dynamics of Solidification of a Continuously Cast Ingot on the Improved Mathematical Model of the Process of Soft Compression // 4th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine 20 – 22 October, 2022. – pp. 481-486.
3. Таланчук П. М., Скрипник Ю. О., Дубровний В. О. Засоби вимірювання в автоматичних та керуючих системах.: Підручн. для студентів вузів, які навчаються із спец. «Автоматизація технологічних процесів і виробництв». Київ : Райдуга, 1994. 672 с.
4. Жураковский Ю. П., Полторак В. П. Теорія інформації та кодування : Підручник. Київ : Вища школа, 2001. 255 с.
5. Жураковский Ю. П., Гніліцький В. В. Теорія інформації та кодування в за-дачах: Навчальний посібник. Житомир : ЖІТІ, 2002. 230 с.
6. Суботін О. В. Розробка ряду модульних структур вимірювальних перетворювачів фотоелектричного типу. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*. Збірник наукових праць. Вип. № 42. Краматорськ : ДДМА, 2018. С. 80–86.

REFERENCES:

1. 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].
2. Subotin, O., Markov, O., & Razzhivin, O. (2022). Study of the Dynamics of Solidification of a Continuously Cast Ingot on the Improved Mathematical Model of the Process of Soft Compression. 4th IEEE International

Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine 20 – 22 October. Pp. 481–486.

3. Talanchuk, P. M., Skripnik, Y. O., & Dubrovny, V. O. (1994). *Zasoby vymiryuvannya v avtomatychnykh ta keruyuchykh systemakh: Pidruchn. dlya studentiv vuziv, yaki navchayutsya zi spets. "Avtomatyzatsiya tennolohichnykh protsesiv i vyrobnytstv"* [Measuring instruments in automatic and control systems: A textbook for university students who are trained in the specialty "Automation of technological processes and production]. K. : Raduha. 672 s. [in Ukrainian].

4. Zhurakovskyy, YU. P., & Poltorak, V. P. (2001). *Teoriya informatsiyi ta koduvannya: Pidruchnyk* [Information theory and coding: Textbook]. K. : Vyshcha shkola. 255 s. [in Ukrainian].

5. Zhurakovskyy, YU. P., & Hnilitskyy, V. V. (2002). *Teoriya informatsiyi ta koduvannya v zadachakh: Navchalnyy posibnyk* [Information theory and coding in problems: Study guide]. Zhytomyr: ZHITI. 230 s. [in Ukrainian].

6. Subotin, O. V. (2018). *Rozrobka ryadu modulnykh struktur vymiryuvalnykh peretvoryuvachiv foto-elektrychnoho typu* [Development of a number of modular structures of photoelectric measuring converters]. *Nadiynist instrumentu ta optymizatsiya tekhnolohichnykh system. Zbirnyk naukovykh prats*. Vip. № 42. Kramatorsk : DDMA, Pp. 80–86. [in Ukrainian].