

УДК 656.022

**ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»
ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ TEL TSI**

Д-р техн. наук К. А. Трубчанінова, канд. техн. наук В. М. Запара,
д-р філософії К. О. Тарасов, асп. С. Г. Сенік

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ENSURING INFORMATION INTEROPERABILITY
OF JSC UKRZALIZNYTSIA'S AUTOMATED SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH TEL
TSI REQUIREMENTS**

Dr. Sc. (Tech.) K. Trubchaninova, PhD (Tech.) V. Zapara, PhD K. Tarasov,
postgraduate student S. Senyk

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.217.2026.374156>



***Анотація.** Інтеграція залізничної системи України до європейського транспортного простору потребує забезпечення сумісності не лише технічних, а й інформаційних процесів. TEL TSI встановлює спільні вимоги щодо обміну даними між учасниками перевізного процесу, тоді як значна частина необхідної інформації вже формується в автоматизованих системах АТ «Укрзалізниця», але може відрізнятися за структурою, семантикою та способом подання.*

У роботі запропоновано підхід для організації двосторонньої інформаційної взаємодії автоматизованих систем АТ «Укрзалізниця» з TEL TSI із застосуванням програмного інтеграційного шлюзу. Розроблено класифікацію інформаційних відповідностей, що включає пряму відповідність, кодове або форматне перетворення, перетворення за додатковою умовою, агрегування, обчислення нового значення та відсутність необхідних даних. Формалізовано правила функціонування шлюзу та запропоновано показники інформаційного покриття, необхідності перетворення, розрахунку і відсутності даних. Попередню апробацію виконано на прикладі подій, передбачених повідомленням WagonStatusMessage. Запропонований підхід дає змогу оцінити інформаційну готовність існуючих систем до реалізації вимог TEL TSI і визначити необхідні напрями їхньої подальшої інтеграції.

***Ключові слова:** інтероперабельність, TEL TSI, залізничний транспорт, інформаційна взаємодія, прикордонні перевезення.*

***Abstract.** The integration of the Ukrainian railway system into the European transport space requires not only technical and operational compatibility but also interoperability of information processes and data exchange. The introduction of the Telecommunication and Telematics Applications for Railways Technical Specification for Interoperability (TEL TSI) establishes common requirements for the exchange of information between participants in the rail transportation process. At the same time, a significant part of the information required by TEL TSI is already generated and stored in the automated information systems of JSC “Ukrzaliznytsia”. However, these data may differ in structure, codes, formats, and conditions of use, which complicates their direct application for cross-border information exchange.*

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

© Трубчанінова К. А., Запара В. М.,
Тарасов К. О., Сенік С. Г., 2026.

The paper proposes a formalized approach to organizing two-way information interaction between the

automated systems of JSC “Ukrzaliznytsia” and the TEL TSI environment through a software integration gateway. The gateway is intended to receive data from existing information systems, normalize and validate them, determine the context of the transportation process, apply the required transformation rules, and generate information objects and messages in accordance with TEL TSI requirements. A classification of information correspondences has been developed, including direct correspondence, code or format conversion, conversion based on additional conditions, aggregation of data from several sources, calculation of a new value, and absence of a required data source. For each type, the corresponding processing procedure and conditions for its application are defined.

To assess the information readiness of existing systems, indicators of information coverage, transformation requirements, calculation requirements, and absence of required data are proposed. The practical applicability of the approach was preliminarily tested using the WagonStatusMessage process. The analysis showed that information analogues can be identified in the JSC “Ukrzaliznytsia” information environment for 9 of 11 event types, corresponding to 81.8% event coverage. The obtained result characterizes only the coverage of events and does not represent a complete assessment of technical or information readiness. The proposed approach provides a basis for identifying information gaps, determining the required data transformations, and planning further integration of Ukrainian railway information systems with the TEL TSI environment.

Keywords: interoperability, TEL TSI, rail transport, information interaction, cross-border transportation.

Вступ. Поглиблення інтеграції залізничного транспорту України до європейського транспортного простору зумовлює необхідність приведення його функціонування до вимог інтероперабельності. Ухвалення Закону України «Про безпеку та інтероперабельність на залізничному транспорті України» від 9 червня 2026 року № 4904-IX сформулоувало нормативне підґрунтя для цього процесу. Відповідно до Закону, інтероперабельність визначена як здатність залізничної системи та її підсистем гарантувати безпеку і безперебійність руху з належним рівнем експлуатаційної ефективності завдяки технічній, функціональній, операційній і нормативній сумісності [1].

Як відомо, важливою складовою інтероперабельності є узгоджений інформаційний обмін між учасниками перевізного процесу. Його забезпечення потребує сумісності даних, що використовують під час планування перевезень, формування поїздів, управління рухом, оформлення перевізних документів та інших технологічних процесів.

Новий етап розвитку інформаційної інтероперабельності пов'язаний з ухваленням Commission Implementing Regulation (EU) 2026/253 від 6 лютого 2026 року, яким запроваджено єдину технічну специфікацію TEL TSI і скасовано попереднє окреме регулювання телематичних застосунків для пасажирських TAP TSI і вантажних TAF TSI перевезень [2]. TEL TSI встановлює спільні вимоги щодо обміну даними та передбачає використання узгодженої семантики, ERA Ontology, спільних довідкових даних (common reference data), а також моделей даних і повідомлень.

Водночас в АТ «Укрзалізниця» уже функціонує комплекс автоматизованих систем, у яких формована значна частина інформації, необхідна для перевізного процесу. До них належать АСК ВП УЗ-Є, АСК ПП УЗ, технічні та нормативно-довідкові бази даних, а також системи оперативного управління рухом. Зокрема, АСК ВП УЗ-Є розглядають як базове інформаційне середовище управління вантажними перевезеннями, у якому накопичувані оперативні дані про об'єкти перевізного процесу [10].

Тому актуальним є визначення того, які інформаційні елементи, необхідні відповідно до TEL TSI, уже сформовані в автоматизованих системах АТ «Укрзалізниця», у якому вигляді вони подані та яких перетворень потребують для забезпечення інформаційної сумісності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання інтероперабельності розглядають у сучасних дослідженнях як важливу умову розвитку та підвищення ефективності транспортних систем. У роботі [3] інтероперабельність визначено як один із принципів організації системи інтермодальних перевезень.

Безпосередньо питання впровадження технічних специфікацій розглянуто в роботі [4]. У ній показано значення TSI для забезпечення сумісності залізничних систем і необхідність їх упровадження в Україні як складової інтеграції до європейського залізничного простору.

Подальші дослідження зосереджені на цифровій взаємодії різних інформаційних систем, у роботі [5] розглянуто створення спільного підходу для організації даних європейського залізничного сектору. У науковій праці [6] автори показали, що для ефективного обміну недостатньо лише забезпечити доступ до інформації - дані також мають бути узгодженими та зрозумілими для різних систем.

Питання узгодження інформації з різних джерел і нормативних документів на основі різних підходів запропоновано в роботах [7-9], де для взаємодії існуючих систем передбачено використання проміжного рівня інтеграції та спільної моделі даних. Подібний напрям розвивають у європейських проєктах LINX4RAIL і LINX4RAIL-2 [10].

Отже, проведені дослідження сформували підходи щодо забезпечення технічної та цифрової інтероперабельності, узгодження даних і створення механізмів взаємодії між різними інформаційними системами.

Водночас, у проаналізованих роботах не вирішено завдання визначення способів отримання конкретних інформаційних елементів TEL TSI з існуючих автоматизованих систем АТ «Укрзалізниця» і кількісного оцінювання готовності наявного інформаційного середовища до такого обміну. Зокрема, необхідно визначити, чи може інформація бути передана безпосередньо, чи потребує вона перетворення, уточнення залежно від умов перевезення, об'єднання даних із декількох джерел, розрахунку нового значення або взагалі відсутня.

Визначення мети та завдань дослідження. Метою дослідження є розроблення формалізованого підходу щодо забезпечення інформаційної взаємодії між автоматизованими системами АТ «Укрзалізниця» і телематичним середовищем TEL TSI через визначення відповідності між інформаційними елементами та оцінювання готовності існуючих інформаційних ресурсів до реалізації вимог інтероперабельності.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити принципи інформаційної взаємодії автоматизованих систем АТ «Укрзалізниця» із TEL TSI і функціонування програмного інтеграційного шлюзу; формалізувати відповідність між інформаційними елементами двох середовищ і класифікувати її за характером необхідного перетворення; запропонувати показники оцінювання інформаційної відповідності та виявлення інформаційних розривів; виконати апробацію запропонованого підходу на одному з інформаційних процесів TEL TSI.

Основна частина дослідження. Аналіз функціональних вимог TEL TSI показує, що інформація, необхідна для реалізації передбачених специфікацією процесів, не може бути отримана з однієї автоматизованої системи.

Інформаційне середовище АТ «Укрзалізниця» доцільно розглядати як сукупність взаємопов'язаних інформаційних

джерел, до яких у межах цього дослідження віднесено АСК ВП УЗ-Є, АСК ПП УЗ, технічні бази даних, системи оперативного управління та контролю руху поїздів, а також нормативно-довідкові бази даних.

Безпосереднє підключення кожної із зазначених систем до зовнішнього TEL TSI середовища призводило б до необхідності

створення значної кількості окремих інтерфейсів, дублювання процедур зіставлення і перетворення та ускладнювало подальше супроводження інформаційної взаємодії. Тому автори запропонували використовувати проміжний програмний інтеграційний шлюз, структурну схему якого наведено на рисунку.

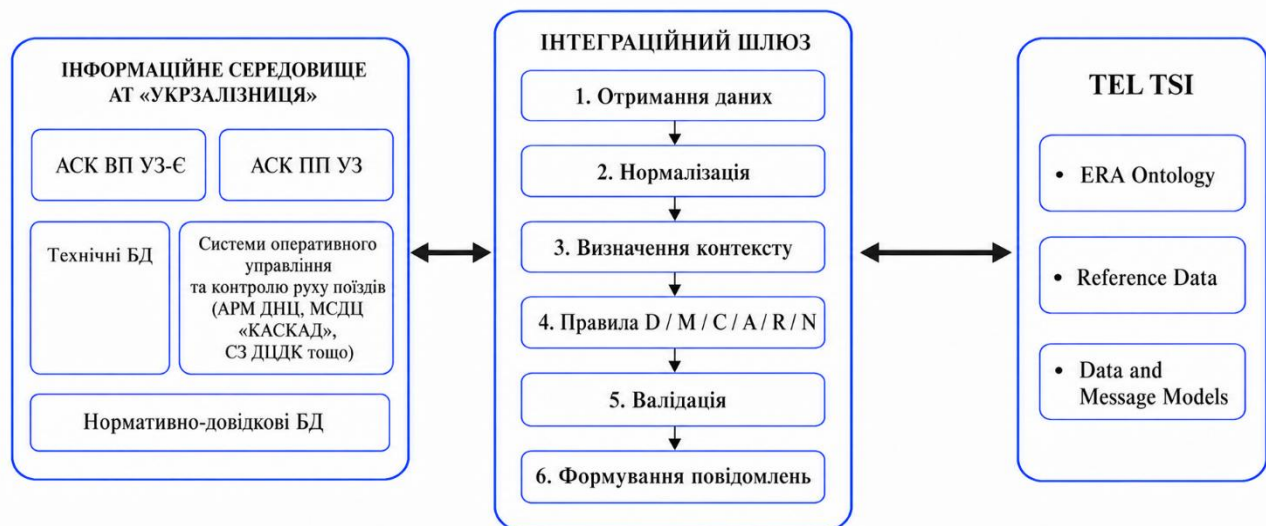


Рис. Структурна схема двосторонньої інформаційної взаємодії автоматизованих систем АТ «Укрзалізниця» із середовищем TEL TSI

Програмний шлюз виконує функції отримання даних з існуючих систем, їх нормалізації, визначення контексту перевізного процесу, застосування правил інформаційного перетворення, валідації та формування інформаційних об'єктів і повідомлень відповідно до вимог TEL TSI.

При цьому TEL TSI не зводить інформаційну сумісність лише до єдиного формату передавання. Регламент передбачає використання спільних довідкових даних (common reference data) та узгодженої семантики даних (common semantics), що забезпечує єдине розуміння змісту інформації всіма учасниками обміну. Тому для забезпечення інформаційної взаємодії недостатньо лише встановити технічний формат передавання даних, а необхідно визначити, як саме інформаційні

елементи, що вже формовані в автоматизованих системах АТ «Укрзалізниця», співвідносяться з інформаційними елементами TEL TSI і яких перетворень вони потребують. Для цього доцільно формалізувати інформаційну відповідність між двома середовищами.

Для початку позначимо множину інформаційних елементів, доступних в інформаційних системах АТ «Укрзалізниця», як U :

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}, \quad (1)$$

де u_i – окремий інформаційний елемент систем УЗ;

m – загальна кількість інформаційних елементів, які аналізують.

Множину інформаційних елементів, необхідних для реалізації TEL TSI, представимо як E :

$$E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_m\}, \quad (2)$$

де e_j – окремий інформаційний елемент TEL TSI;

m – загальна кількість таких елементів.

У найпростішому випадку між елементами може існувати однозначна відповідність:

$$u_i \rightarrow e_j. \quad (3)$$

Однак така відповідність характерна лише для певної частини даних. В інших випадках для формування інформаційного елемента TEL TSI може знадобитися перетворення наявного значення, урахування додаткових умов, використання довідкової інформації, об'єднання даних із декількох джерел або виконання додаткового розрахунку. Тому для кожного елемента TEL TSI необхідно визначити, які вихідні дані систем УЗ використано для його формування та який спосіб їх обробки необхідний. Залежно від цього запропоновано виділити шість типів інформаційної відповідності, наведених у таблиці.

Таблиця

Класифікація типів інформаційної відповідності

Тип	Вид відповідності	Характер даних	Необхідна дія
D	Пряма відповідність	Необхідне значення вже наявне	Передавання
M	Кодове або форматне перетворення	Дані наявні, але відрізняється спосіб подання	Переформатування
C	Перетворення за додатковою умовою	Значення TEL TSI залежить від додаткових умов	Вибір відповідного значення TEL TSI
A	Агрегування	Дані розподілені між декількома джерелами	Об'єднання
R	Обчислення нового значення	Вихідні дані наявні, готовий результат відсутній	Розрахунок
N	Відсутність необхідного джерела	Наявної інформації недостатньо	Нове або додаткове джерело

За таблицею, до прямої відповідності (D) належить випадок, коли інформаційний елемент, необхідний відповідно для TEL TSI, уже існує в одній із систем УЗ і має еквівалентне семантичне значення. У цьому випадку

$$e_j = u_i. \quad (4)$$

Назви або технічне подання полів можуть відрізнятися, однак зміст інформації залишається тотожним. Завдання шлюзу

полягає переважно в передаванні цього значення до відповідного TEL TSI об'єкта.

Наступний тип (M) характеризує ситуацію, коли необхідна інформація існує, але подана за допомогою іншого коду, ідентифікатора, формату або структури, тоді

$$e_j = M_j(u_i), \quad (5)$$

де M_j – функція форматного перетворення.

Якщо перетворення пов'язане з використанням різних систем кодування,

відповідність між кодами УЗ і TEL TSI може бути задана множиною пар:

$$M = \{(c_1^{uz}, c_1^{tel}), (c_2^{uz}, c_2^{tel}), \dots, (c_k^{uz}, c_k^{tel})\}, \quad (6)$$

де c_k^{uz} – код, що використано в інформаційних системах УЗ;

c_k^{tel} – відповідний йому код або ідентифікатор, прийнятий у середовищі TEL TSI.

У цьому випадку первинна інформація не створена, а шлюз лише приводить уже наявне значення до прийнятого TEL TSI подання.

Більш складним є випадок, коли значення TEL TSI неможливо однозначно визначити лише за одним внутрішнім кодом або операцією, тоді використовують перетворення за додатковою умовою (тип С):

$$e_j = C_j(u_i, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_p), \quad (7)$$

де C_j – функція перетворення за додатковою умовою;

γ_p – умови, необхідні для вибору відповідного значення TEL TSI.

До таких умов можуть належати роль станції в маршруті перевезення, поточний стан об'єкта, етап виконання перевезення, роль учасника в певній операції та інші характеристики, які уточнюють значення вихідних даних.

Наприклад, у системі УЗ може бути зафіксовано операцію прибуття вагона. Для TEL TSI необхідно додатково визначити, на яку саме станцію він прибув. Якщо це проміжна станція, то формують подію Wagon Arrival, а якщо станція призначення – Wagon Reached Destination.

Наступний тип (А) характеризує ситуацію, коли вся інформація, необхідна для формування TEL TSI елемента або об'єкта, існує, однак розподілена між декількома джерелами, у такому випадку

$$e_j = A_j(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}), \quad (8)$$

де A_j – функція агрегування.

У цьому випадку шлюз отримує окремі інформаційні елементи з різних автоматизованих систем, поєднує їх і формує єдиний інформаційний об'єкт відповідно до структури TEL TSI.

Тип R використовують тоді, коли готового значення в інформаційних системах УЗ немає, однак наявних вихідних даних достатньо для його розрахунку. У цьому випадку програмний шлюз не просто об'єднує вже існуючі відомості, а формує новий інформаційний елемент на основі визначеного алгоритму.

Саме цим тип R відрізняється від типу А. З агрегуванням усі необхідні значення вже існують у різних джерелах, і шлюз лише поєднує їх в один інформаційний об'єкт. Для застосування типу R готового результату немає, тому він має бути розрахований на основі наявної інформації.

Наприклад, до такого типу можуть належати прогнозні характеристики руху. Для визначення прогнозного часу прибуття можна використовувати плановий час, фактичне місцезнаходження поїзда, поточне відхилення від графіка та інші оперативні дані. На основі цих відомостей формують нове прогнозне значення, якого безпосередньо в жодному з вихідних джерел не було.

Останній тип N використовують тоді, коли в наявних інформаційних системах УЗ недостатньо даних для формування необхідного елемента TEL TSI. У такому випадку інформацію неможливо отримати ні прямим передаванням, ні перетворенням, ні об'єднанням даних із кількох джерел, ні за допомогою додаткового розрахунку.

Це означає, що проблема полягає вже не в роботі інтеграційного шлюзу, а у відсутності необхідної первинної інформації. Для усунення такого розриву потрібно або підключити додаткове джерело даних, або розширити функціональність існуючої системи, або організувати формування нових інформаційних елементів.

Визначення типу інформаційної відповідності дає змогу встановити характер необхідної дії, однак для роботи програмного шлюзу необхідно також визначити, як саме ця дія має бути виконувана для конкретного інформаційного елемента TEL TSI. Для цього пропонуємо сформувати множину правил:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_s\}, \quad (9)$$

де p_s – окреме правило інформаційного перетворення;

s – загальна кількість таких правил.

Для формування конкретного інформаційного елемента TEL TSI e_j із множини U також визначають сукупність необхідних вихідних даних:

$$S_j = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}\} \subseteq U, \quad (10)$$

де S_j – сукупність інформаційних елементів систем УЗ, необхідних для формування елемента e_j .

Для кожної такої відповідності попередньо встановлюють один із визначених у таблиці типів:

$$t_j \in \{D, M, C, A, R, N\}, \quad (11)$$

де t_j – тип інформаційної відповідності для елемента e_j .

Встановлений тип визначає характер правила, яке необхідно застосувати до вихідних даних. Тому множину правил P доцільно формувати з урахуванням відповідних типів інформаційної

відповідності. Для кожного елемента e_j , крім випадку типу N , вибирають конкретне правило p_s , відповідно до якого обробляють вихідні дані.

У загальному випадку формування елемента TEL TSI можна подати як

$$e_j = p_s(S_j, Z, Q), \quad p_s \in P_{t_j}, \quad (12)$$

де Z – додаткові умови, які за необхідності враховують під час обробки даних;

Q – довідкова інформація, необхідна для приведення даних до прийнятих у TEL TSI позначень та ідентифікаторів;

P_{t_j} – група правил, що відповідає встановленому типу інформаційної відповідності t_j .

При цьому використання Z та Q не є обов'язковим для кожного інформаційного елемента, а залежить від характеру його відповідності. Наприклад, для прямої відповідності може бути достатньо лише вихідного значення u_i , тоді як для перетворення за додатковою умовою необхідно також урахувати відповідні умови Z .

Для типу N правило формування елемента e_j на основі наявної множини U відсутнє, оскільки існуючих даних недостатньо. У такому випадку необхідним є залучення нового або додаткового джерела інформації.

Запропонована класифікація дає змогу не лише визначити спосіб формування окремих інформаційних елементів TEL TSI, а й оцінити, наскільки наявне інформаційне середовище АТ «Укрзалізниця» готове до забезпечення відповідного інформаційного обміну. Після встановлення типу відповідності для кожного інформаційного елемента TEL TSI у межах функціонального блока i визначають кількість елементів, віднесених до кожного з раніше визначених типів D, M, C, A, R та N . При цьому загальна кількість інформаційних елементів L , що оцінюють у межах функціонального блоку i , становить

$$L_i = n_{D,i} + n_{M,i} + n_{C,i} + n_{A,i} + n_{R,i} + n_{N,i}, \quad (13)$$

де $n_{D,i}, \dots, n_{N,i}$ – кількість інформаційних елементів відповідного типу у функціональному блоці i .

При цьому до L_i не включають службові елементи, які автоматично формує сам програмний шлюз, а також дані, що отримують із зовнішніх довідкових ресурсів TEL TSI. Їх відсутність у внутрішніх системах УЗ не свідчить про недостатність інформаційного середовища.

Для визначення частки вимог TEL TSI, які можуть бути забезпечені на основі вже наявних в інформаційних системах УЗ даних, запропоновано використовувати коефіцієнт інформаційного покриття K_i^{cov} :

$$K_i^{cov} = \frac{n_{D,i} + n_{M,i} + n_{C,i} + n_{A,i}}{L_i}. \quad (14)$$

До чисельника в цьому випадку включені лише ті випадки, коли необхідна первинна інформація вже наявна в системах УЗ: її можна передати безпосередньо, переформатувати, використати з урахуванням додаткової умови або об'єднати з даними інших джерел, при цьому значення коефіцієнта знаходиться в межах від 0 до 1. Чим ближче значення K_i^{cov} до 1, тим більша частина вимог TEL TSI може бути забезпечена на основі вже існуючих інформаційних ресурсів АТ «Укрзалізниця».

Водночас сама наявність інформації ще не означає можливість її безпосереднього використання в TEL TSI. Частина даних може потребувати додаткової обробки програмним шлюзом. Для оцінювання такої потреби запропоновано коефіцієнт необхідності трансформації K_i^{tr} :

$$K_i^{tr} = \frac{n_{M,i} + n_{C,i} + n_{A,i}}{n_{D,i} + n_{M,i} + n_{C,i} + n_{A,i}}. \quad (15)$$

Коефіцієнт K_i^{tr} набуває значень у межах від 0 до 1. Чим менше його значення, тим більша частина наявної інформації може бути використана безпосередньо, без додаткової обробки.

Також окремо необхідно врахувати інформаційні елементи типу R , для яких готового значення в системах УЗ немає, однак наявних вихідних даних достатньо для його розрахунку. Для цього запропоновано коефіцієнт K_i^{calc} :

$$K_i^{calc} = \frac{n_{R,i}}{L_i}. \quad (16)$$

Він показує частку вимог TEL TSI, для реалізації яких необхідно не просто передати або перетворити наявну інформацію, а сформувати нове значення через розрахунок.

Зростання K_i^{calc} свідчить про необхідність створення в інтеграційному шлюзі або пов'язаних із ним системах додаткових розрахункових чи прогнозних функцій.

Для визначення частки вимог, для яких не встановлено достатнього джерела даних, запропоновано коефіцієнт K_i^{gap} :

$$K_i^{gap} = \frac{n_{N,i}}{L_i}. \quad (17)$$

Коефіцієнт K_i^{gap} , аналогічно до попередніх, набуває значень у межах від 0 до 1 і характеризує частку інформаційних елементів TEL TSI, для формування яких необхідно підключити додаткове джерело даних, розширити існуючі інформаційні системи або організувати формування нової первинної інформації.

Чим менше значення K_i^{gap} , тим менше інформаційних вимог залишається незабезпеченими. Зростання цього коефіцієнта, навпаки, свідчить про збільшення частки вимог, реалізація яких

неможлива лише за рахунок існуючого інформаційного середовища.

Отже, запропоновані коефіцієнти характеризують різні сторони інформаційної готовності. При цьому для кожного функціонального блока виконуване співвідношення

$$K_i^{cov} + K_i^{calc} + K_i^{gap} = 1. \quad (18)$$

Коефіцієнт K_i^{tr} до цього співвідношення не включений, оскільки він додатково характеризує структуру вже наявної інформації та показує, яка її частка потребує перетворення.

Оскільки кожен із запропонованих коефіцієнтів характеризує окрему сторону інформаційної готовності, для функціонального блока i доцільно використовувати їхню сукупність у вигляді вектора I_i :

$$I_i = (K_i^{cov}, K_i^{tr}, K_i^{calc}, K_i^{gap}). \quad (19)$$

У цьому випадку I_i не є сумою чотирьох показників, а являє собою комплексну характеристику функціонального блока. Включення до неї K_i^{tr} дає змогу, крім загального рівня інформаційного покриття, додатково оцінити обсяг перетворень, необхідних для вже наявної інформації.

Запропоновані показники допомагають оцінювати інформаційну готовність не лише окремого функціонального блока, а й усієї сукупності вимог TEL TSI, включених до дослідження. Для цього результати за окремими блоками доцільно узагальнити з урахуванням кількості інформаційних елементів у кожному з них.

Загальний коефіцієнт інформаційного покриття (K_{cov}^{TEL}) визначають як

$$K_{cov}^{TEL} = \frac{\sum_{i=1}^z (n_{D,i} + n_{M,i} + n_{C,i} + n_{A,i})}{\sum_{i=1}^z L_i}, \quad (20)$$

де z – кількість функціональних блоків TEL TSI, включених до аналізу.

Отже, показник K_{cov}^{TEL} характеризує частку всіх досліджуваних інформаційних вимог TEL TSI, які можуть бути забезпечені на основі даних, що вже наявні в інформаційному середовищі АТ «Укрзалізниця».

Загальний коефіцієнт необхідності розрахунку K_{cov}^{TEL} визначають як

$$K_{calc}^{TEL} = \frac{\sum_{i=1}^z n_{R,i}}{\sum_{i=1}^z L_i}. \quad (21)$$

Він показує частку всіх інформаційних елементів TEL TSI, для формування яких наявних вихідних даних достатньо, однак необхідно виконати додатковий розрахунок або сформувані нове прогнозне значення.

Загальний коефіцієнт відсутності необхідних даних K_{gap}^{TEL} визначають як

$$K_{gap}^{TEL} = \frac{\sum_{i=1}^z n_{N,i}}{\sum_{i=1}^z L_i}. \quad (22)$$

Цей показник показує частку всіх вимог TEL TSI, які не можуть бути реалізовані на основі наявної інформації та потребують підключення додаткових джерел даних або розширення існуючих інформаційних систем.

Оскільки всі інформаційні елементи розподілені між трьома узагальненими групами, їхня сукупна частка становить 100 % загальної кількості оцінюваних елементів. Коефіцієнт K_{tr}^{TEL} , аналогічно до попереднього співвідношення, до загального розподілу не включений, оскільки має додатковий характер.

Для перевірки можливості практичного застосування запропонованого підходу виконано попереднє зіставлення типів подій повідомлення WagonStatusMessage TEL TSI з інформацією про вагонні та поїзні операції, яка формована в інформаційному середовищі АТ «Укрзалізниця».

Відповідно до TEL TSI, повідомлення WagonStatusMessage використовують для інформування про поточне місцезнаходження і стан вантажного вагона. Для нього передбачено 11 типів подій: Wagon Ready To Pull, Wagon Pulled, Wagon Left Origin, Wagon Arrival, Wagon Departure, Wagon Handed Over, Wagon Taken Over, WagonJourneyIrregularity, Wagon Journey Rectified, Wagon Reached Destination і Wagon Delivered [12].

Попередній аналіз показав, що для 9 із 11 типів подій (81,8 %) можуть бути встановлені інформаційні аналоги в середовищі УЗ. Це стосується операцій готовності та забирання вагона, відправлення з початкової станції, прибуття і відправлення на проміжних станціях, фіксації несправності та її усунення, прибуття на станцію призначення і подавання вагона одержувачу. Відповідна інформація про поїзні та вагонні операції формована в АСК ВП УЗ-Є і пов'язаних автоматизованих робочих місцях [11], зокрема через повідомлення про фактичне прибуття і відправлення, а також повідомлення про зміну технічного стану вагона.

Для подій Wagon Handed Over і Wagon Taken Over, що характеризують передавання і приймання вагона між послідовними залізничними підприємствами, однозначне зіставлення з конкретними внутрішніми повідомленнями АСК ВП УЗ-Є у межах використаних джерел потребує додаткового уточнення. При цьому відносити їх до типу *N* недоцільно, оскільки відсутність підтвердження у відкритих джерелах не означає відсутності відповідної інформації в системах УЗ.

Отриманий результат свідчить про те, що значна частина даних про зміни стану вагона, передбачених повідомленням WagonStatusMessage, може бути сформована на основі відомостей, які вже генеровані в автоматизованих системах АТ «Укрзалізниця». Водночас значення 81,8 %

характеризує лише покриття передбачених повідомленням подій і не є оцінкою повної інформаційної або технічної готовності до формування WagonStatusMessage, оскільки інші елементи повідомлення на цьому етапі не оцінені.

Проведене зіставлення також підтвердило доцільність виділення типу *C* - перетворення за додатковою умовою. Так, операція прибуття вагона залежно від ролі станції в маршруті може відповідати Wagon Arrival для проміжної станції або Wagon Reached Destination для станції призначення. Аналогічно відправлення з початкової станції відповідає Wagon Left Origin, а з проміжної - Wagon Departure [12].

Отже, проведена апробація підтверджує можливість практичного застосування запропонованого підходу і доцільність його подальшого використання для аналізу повного складу інформаційних елементів TEL TSI.

Висновки. У роботі запропоновано формалізований підхід щодо оцінювання інформаційної готовності автоматизованих систем АТ «Укрзалізниця» до взаємодії з TEL TSI. Визначено принцип побудови інтеграційного шлюзу та розроблено класифікацію інформаційної відповідності, що охоплює пряме передавання, перетворення, урахування додаткових умов, об'єднання, розрахунок і відсутність необхідних даних. Запропоновано систему показників, яка дає змогу оцінити рівень інформаційного покриття і визначити характер перетворень і наявні інформаційні розриви.

Попередня апробація на прикладі WagonStatusMessage показала можливість встановлення інформаційних аналогів для 9 із 11 типів подій (81,8 %), що підтверджує практичну застосовність запропонованого підходу. Подальші дослідження доцільно спрямувати на повне зіставлення інформаційних елементів TEL TSI із даними автоматизованих систем АТ «Укрзалізниця» та уточнення кількісних показників за всіма функціональними блоками.

Список використаних джерел

1. Про безпеку та інтероперабельність на залізничному транспорті України: Закон України від 09.06.2026 р. № 4904-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4904-20#Text> (дата звернення: 01.09.2026).
2. Commission Implementing Regulation (EU) 2026/253 of 6 February 2026 on a technical specification relating to the telematics subsystem of the rail system in the European Union for interoperability of data sharing in rail transport (TEL TSI) and repealing Regulations (EU) No 454/2011 and (EU) No 1305/2014. *Official Journal of the European Union*. 2026. URL: https://data.europa.eu/eli/reg_impl/2026/253/oj (date of access: 31.08.2026).
3. Головка, Т. В., & Демченко, І. С. (2024). Теоретико-методологічні засади організації системи інтермодальних перевезень в умовах інтероперабельності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 29(1), 64–68. URL: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v29i1.300979> (дата звернення: 01.09.2026).
4. Запара, В. М., Оленюк, В. О., & Тимошенко, І. О. (2017). Технічні специфікації з інтероперабельності та їх упровадження у швидкісному русі на залізницях України. *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, (173). URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.173.2017.118183> (дата звернення: 01.09.2026).
5. Rojas Meléndez, J. A. et al. (2021). Leveraging Semantic Technologies for Digital Interoperability in the European Railway Domain. *The Semantic Web – ISWC*, 12922, 648–664. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-88361-4_38. (date of access: 01.09.2026)
6. Buyle, R. et al. (2021). A Sustainable Method for Publishing Interoperable Open Data on the Web. *Data*, 6(8), 93. URL: <https://doi.org/10.3390/data6080093> (date of access: 01.09.2026).
7. Shynkarenko, V., Zhuchyi, L., & Ivanov, O. (2022). Ontology-Based Semantic Checking of Data in Railway Infrastructure Information Systems. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 47(3), 291–319. URL: <https://doi.org/10.2478/fcds-2022-0016> (date of access: 01.09.2026).
8. Cecchetti, G. et al. (2023). Toward new generation railway Traffic Management Systems: the contribution of the OPTIMA project. *Transportation Research Procedia*, 72, 3166–3173. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.882> (date of access: 03.09.2026).
9. Cecchetti, G. et al. (2024). A communication platform demonstrator for new generation railway traffic management systems: Testing and validation / *Transportation Engineering*, 15, 100222. URL: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100222> (date of access: 02.09.2026).
10. European Commission. LINX4RAIL2 – System Architecture and Conceptual Data Model for Railway, Common Data Dictionary and Global System Modelling Specifications. H2020 Project Periodic Reporting. 2023. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101014540/reporting> (date of access: 03.09.2026).
11. Kyrychenko H., & Berdnychenko Y. (2024). Automated Control Systems in Railway Transportation. In: *International Security Studies: Managerial, Technical, Legal, Environmental, Informative and Psychological Aspects*. International collective monograph. (Vol. I.) Oslo : NMBU Research and Education, URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10821982>. (date of access: 03.09.2026).
12. European Union Agency for Railways. ERA Ontology. Version 3.3.4. Release 10 August 2026. European Union Agency for Railways, 2026. URL: <https://rinf.data.era.europa.eu/era-vocabulary/> (date of access: 03.09.2026).

References

1. Pro bezpeku ta interoperabel'nist' na zaliznychnomu transporti Ukrayiny: Zakon Ukrayiny [Law of Ukraine «On Safety and Interoperability in Railway Transport of Ukraine»]. No. 4904-IX of June 9, 2026. (2026). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4904-20#Text>
2. Commission Implementing Regulation (EU) 2026/253 of 6 February 2026 on a technical specification relating to the telematics subsystem of the rail system in the European Union for interoperability of data sharing in rail transport (TEL TSI) and repealing Regulations (EU) No 454/2011 and (EU) No 1305/2014. (2026). *Official Journal of the European Union*. https://data.europa.eu/eli/reg_impl/2026/253/oj
3. Golovko, T. V., & Demchenko, I. S. (2024). Teoretyko-metodolohichni zasady orhanizatsiyi systemy intermodal'nykh perevezen' v umovakh interoperabel'nosti [Theoretical and methodological principles of organizing an intermodal transportation system under interoperability conditions]. *Information and control systems in railway transport*, 29(1), 64–68. <https://doi.org/10.18664/ikszt.v29i1.300979>
4. Zapara, V. M., Oleniuk, V. O., & Tymoshenko, I. O. (2017). Tekhnichni spetsyfikatsiyi z interoperabel'nosti ta yikh uprovdzhennya u shvydkisnomu rusi na zaliznytsyakh Ukrayiny. [Technical specifications for interoperability and their implementation in high-speed railways on the railways of Ukraine]. *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, (173). <https://doi.org/10.18664/1994-7852.173.2017.118183>
5. Rojas Meléndez, J. A., et al. (2021). Leveraging semantic technologies for digital interoperability in the European railway domain. *The Semantic Web – ISWC*, 12922, 648–664. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88361-4_38
6. Buyle, R., et al. (2021). A sustainable method for publishing interoperable open data on the Web. *Data*, 6(8), 93. <https://doi.org/10.3390/data6080093>
7. Shynkarenko, V., Zhuchyi, L., & Ivanov, O. (2022). Ontology-based semantic checking of data in railway infrastructure information systems. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 47(3), 291–319. <https://doi.org/10.2478/fcds-2022-0016>
8. Cecchetti, G., et al. (2023). Toward new generation railway traffic management systems: The contribution of the OPTIMA project. *Transportation Research Procedia*, 72, 3166–3173. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.882>
9. Cecchetti, G., et al. (2024). A communication platform demonstrator for new generation railway traffic management systems: Testing and validation. *Transportation Engineering*, 15, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100222>
10. European Commission. (2023). *LINX4RAIL2: System architecture and conceptual data model for railway, common data dictionary and global system modelling specifications*. H2020 Project Periodic Reporting. <https://cordis.europa.eu/project/id/101014540/reporting>
11. Kyrychenko, H., & Berdnychenko, Y. (2024). Automated control systems in railway transportation. In *International security studies: Managerial, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects* (Vol. I). NMBU Research and Education. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10821982>
12. European Union Agency for Railways. (2026). *ERA Ontology* (Version 3.3.4, release August 10, 2026). <https://rinf.data.era.europa.eu/era-vocabulary/>

Трубчанінова Карина Артурівна, доктор технічних наук, професор кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-2078-2647. Тел.: +38 (050) 637-43-26. E-mail: karyna.trubchaninova@kart.edu.ua.

Запара Віктор Мефодійович, кандидат технічних наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-9134-1799. Тел.: +38 (068) 954-33-98. E-mail: v.zapara@gmail.com.

Тарасов Кирило Олександрович, доктор філософії, АТ «Укрзалізниця», філія «Локомотивна компанія». ORCID iD: 0000-0001-5976-4169. Тел.: +38 (099) 098-08-11. E-mail: kir.tarasov1998@gmail.com.

Сеник Сергій Григорович, аспірант кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: senik@alfa-lex.com.ua. ORCID iD: 0009-0003-1120-8819.

Trubchaninova Karyna Arturivna, Doctor of Technical Sciences, Professor of the department of Transport Communication, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-2078-2647.

Tel.: +38 (050) 637-43-26. E-mail: karyna.trubchaninova@kart.edu.ua.

Zapara Viktor Mefodiyovych, PhD (Tech), professor of the department of freight and commercial management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-9134-1799. Tel.: +38 (068) 954-33-98. E-mail: v.zapara@gmail.com.

Tarasov Kyrylo Oleksandrovych, Doctor of Philosophy, JSC «Ukrzaliznytsia», branch «Locomotive Company». ORCID iD: 0000-0001-5976-4169. Tel.: +38 (099) 098-08-11. E-mail: kir.tarasov1998@gmail.com.

Senyk Serhiy Hryhorovych, postgraduate student, department of freight and commercial management, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: senik@alfa-lex.com.ua. ORCID iD: 0009-0003-1120-8819.

Дата надходження статті: 25.08.2026 р.

Дата прийняття статті до друку: 25.09.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 16.10.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY