

УДК 656.222.3

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205862

## Розробка підходів щодо реалізації автоматизованої технології активного моніторингу за перевезеннями небезпечних вантажів по залізниці

О. В. Лаврухін, Р. В. Вернигора, В. І. Шевченко, А. М. Киман, О. О. Шуліка  
Д. О. Кульова, К. В. Кім

*Запропоновано підхід для формування автоматизованої технології активного моніторингу за перевезеннями небезпечних вантажів залізничним транспортом. Представлений підхід динамічного опису поїздних станів розроблено на основі модифікації мови поїзних ситуацій у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів. Це дозволить забезпечити максимальну швидку реалізацію алгоритмів прийняття рішень оперативним персоналом при потужній підтримці автоматизованого комплексу диспетчерського управління. Визначено, що максимальний ефект від реалізації запропонованого підходу буде отриманий при синтезі з системою активного моніторингу просування рухомих одиниць.*

*Моделювання довільної поїзної ситуації, яка може виникнути в реальних оперативних обставинах, надала можливість прогнозувати порушення нормативного графіку руху поїздів та змодельовати когнітивний процес прийняття рішення поїзним диспетчером для раціонального вирішення складної поїзної ситуації в мінливих оперативних умовах при врахуванні значної кількості факторів. Модифікація мови поїзних ситуацій здатна адекватно надати просторово-часовий опис поїзних ситуацій на модельованій ділянці та є найбільш наближеною до мови диспетчерського персоналу.*

*Перевагами запропонованого підходу є те, що він дозволяє максимально швидко сформувати базу даних та базу знань для формування робочої моделі системи диспетчерського контролю. Дана система розроблена на основі імітації когнітивної діяльності людини оператора, тим самим надаючи можливість поглибити впровадження систем штучного інтелекту на залізниці. Ці інновації дозволять досягти максимального рівня безпеки при перевезенні небезпечних вантажів при одночасному безумовному досягненні зменшення експлуатаційних витрат та отримання підвищених прибутків*

*Ключові слова: небезпечні вантажі, мова поїзних ситуацій, абстрактне моделювання оперативних процесів*

### 1. Вступ

В сучасних умовах доволі гостро постають питання підвищення прибутковості від перевезень залізничним транспортом. Це можливо як за рахунок отримання прямих грошових надходжень, так і за рахунок збереження існуючого устаткування, яке може базуватися на підсиленні технологічної основи організації перевізного процесу.

В даному аспекті особливу увагу привертають перевезення небезпечних вантажів (НВ). За їх перевезення галузь залізничного транспорту отримує значні фінансові надходження, це виходить з постійного росту обсягу перевезень.

Однак перевезення таких вантажів пов'язані зі значними ризиками виникнення нестандартних небезпечних ситуацій, в тому числі, з нанесенням значних матеріальних збитків [1]. До того ж перевезення таких вантажів несе в собі потенціальну небезпеку для життя та здоров'я людини, а також навколишнього середовища [2].

Відповідно до цього доцільним є вирішення питання забезпечення таких перевезень техніко-технологічними заходами, які дозволять якісно і ефективно реалізовувати основну продукцію залізничного транспорту.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

В роботі [3] на основі проведеного аналізу надзвичайних транспортних подій під час перевезення НВ виявлено різні причини. Значна частка таких подій відбувається через технічну несправність вагонів й катастрофічний знос основних фондів, а також через порушення вимог безпеки, які призводять до значної матеріальної шкоди. Тому питання вдосконалення саме технології перевезення небезпечних вантажів на різних ланках процесу транспортування на сьогодні є надзвичайно важливим та можливе лише за умови вдосконалення усіх чинників перевізного процесу: організаційно-технічного, технологічного, інформаційного, кадрового та ін.

Важливість чіткого виконання вимог нормативних документів та міжнародних конвенцій щодо перевезення НВ розглянуто в роботі [4]. В дослідженні йдеться про транспортування радіоактивних матеріалів та речовин залізничним транспортом, що при нормальній експлуатації мінімізує небезпеки техногенного характеру, як на особовий склад перевезення спеціальних вантажів, так і на довколишнє середовище.

В роботі [5] сформовано модель оцінки імовірності виникнення аварій з вагоном із небезпечним вантажем на сортувальній станції з використанням математичного апарату байесових мереж та нечіткої логіки. Дана модель дозволяє детально оцінити ризик виникнення аварій з вагоном із небезпечним вантажем і побудувати функції ненадійності від часу, надає можливість використовувати інформацію про події та поточний стан об'єктів на сортувальній станції. В рамках дослідження розглянуто оцінку імовірності виникнення аварії з вагоном з НВ тільки під час його перебування на сортувальній станції та не приділено увагу просуванню поїздопотоків з такими вантажами по мережі залізниць при підтримці оперативного персоналу інтелектуальними системами.

В роботі [6] сформовано модель оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі «технічна станція – прилегла дільниця» на базі нечіткої ситуаційної мережі. Впровадження представленої моделі дозволяє зменшити ризики виникнення потенційно можливої транспортної події й пов'язаних з нею збитків під час виконання поїзної або маневрової роботи шляхом інтелектуальної підтримки планування на оперативному рівні. Розроблення та подальше впровадження її до системи підтримки прийняття рішень на-

дасть можливість знизити кількість транспортних подій з причин організаційного характеру. При цьому, в роботі недостатню увагу приділено ризикам, що можуть виникати при прямуванні поїздів з НВ в умовах пасажирського руху, як на перегонах, так і розмежувальних пунктах, що в свою чергу може призвести до більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

Проблеми аварійності при перевезенні НВ стоять перед всім залізницями світу і шляхи їх вирішення ґрунтуються на широкомасштабному застосуванні передових комп'ютерних технологій. Їх впровадження та застосування дозволяють обробляти заочні потоки оперативної та нормативної вхідної інформації з послідувальною обробкою та наданням конкретного рішення.

В роботі [7] показано, що рівень збитків через аварійні ситуації з НВ на залізничному транспорті постійно зростає. Це, в свою чергу, викликає необхідність враховувати всі види небезпек, які можуть виникнути при транспортуванні таких вантажів. В дослідженні проведено моделювання в програмі ALOHA, яке дозволяє проілюструвати наслідки, ступінь загрози та масштаб інциденту через викид аміаку з цистерни в результаті аварійної ситуації. Показано, що найбільш часта причина виникнення таких ситуацій – є зіткнення вагонів. В дослідженні проведено імітаційне моделювання можливих сценаріїв при перевезенні НВ та надані загальні рекомендації щодо запобігання транспортних подій. Однак в статті не приділено уваги динамічному коригуванню поїзної ситуації для приймання швидких, управлінських рішень оперативним персоналом.

В роботі [8] проведено аналіз безпеки руху та аварійності на залізничному транспорті, виявлено, що найбільші збитки та негативні наслідки виникають через транспортні події при перевезенні НВ. Вказано, що понесені втрати можуть бути зменшені за рахунок комплексного впровадження різнопланових заходів, щоб запобігти виникненню аварійних ситуацій. Окремі дії тільки зменшують імовірність виникнення конкретного ризику, тоді як сума адекватно обраних заходів дозволить знизити рівень ризику до прийнятого рівня. При цьому, авторами проігноровані питання розробки технологій в області інтелектуального моделювання, методам ситуаційного управління та методам лінгвістичного моделювання в некласичних логіках.

В роботі [9] метою є розробка елементів інтегрованої системи безпеки для зони ризику виникнення транспортних подій з НВ, з подальшим її використанням в міжнародному сполученні та іншими видами транспорту. Рішення основних задач дослідження вирішувались використанням комп'ютерного моделювання, порівняльної типології, кругових експертних оцінок, статистичного аналізу, теорії ймовірності, теорії подібності та ін.

В роботі [10] розроблено інструмент оцінки та систематизації ризиків при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. Дані ризики пов'язані з найбільш розповсюдженими причинами сходу рухомого складу з колії та іншими аварійними ситуаціями на перегонах зареєстрованих в Канаді на основі частоти проходження поїздів по дільниці, швидкості руху, характеристики залізничної колії та інших факторів. Однак в посиланнях [9, 10] не використовуються інтелектуальні методи, які б надали можливість коригувати дії диспетчерського апарату відносно поїзної ситуації з високим рівнем ризику на-

стання аварійної ситуації, яка вже склалася на полігоні або станції. Це, в свою чергу, не дає можливості уникнути більш значних наслідків в її результаті.

В роботах [11–14] представлені підходи щодо управління ризиками при перевезенні НВ автомобільним, авіаційним та морським транспортом, виявлено, зростаючий об'єм таких вантажів в міжнародному сполученні різними видами транспорту. Однак розглянуті підходи [11–14] використовують стандартні математичні методи моделювання без формалізації інструктивної мови диспетчерського персоналу та не враховують специфіки перевезення НВ саме залізничним транспортом, що в свою чергу вказує на важливість розробки передових ризикорієнтованих технологій по перевезенню таких вантажів залізницею для підвищення рівня її конкурентоспроможності з іншими видами транспорту і для покращення якості мультимодальних, інтермодальних та контейнерних перевезень.

Основну увагу приділено ідентифікації причин настання транспортних подій при перевезенні НВ, розроблено нормативно-правову базу, яка не в повній мірі охоплює специфіку таких перевезень. Враховуючи мінливі умови функціонування залізничних станцій, для поліпшення роботи оперативних працівників необхідна розробка та впровадження автоматизованої технології, яка б надавала можливість приймати зважені рішення на основі обробки великої кількості вхідної інформації за відносно короткий проміжок часу з динамічним корегуванням поїздопотоків з НВ.

### **3. Ціль та задачі дослідження**

Метою дослідження є формування автоматизованої технології активного моніторингу за перевезеннями НВ по залізниці.

Для досягнення поставленої мети доцільно вирішити наступні науково-практичні завдання:

- розробити підхід щодо динамічного опису поїзних станів в реальному режимі часу для формування системи підтримки прийняття рішень (СППР) оперативного персоналу;
- провести моделювання та проаналізувати отримані результати на довільних поїзних ситуаціях, що виникають в експлуатаційній роботі при просуванні поїздопотоків.

### **4. Стратегічні підходи до формування автоматизованої технології активного моніторингу за перевезеннями НВ по залізниці**

З метою реалізації превентивних заходів при перевезенні НВ доцільно розробити та впровадити автоматизовану технологію, яка дозволить в режимі реального часу забезпечити керуючі заходи по просуванню транспортних одиниць (локомотиви, вагони). Для успішної реалізації будь-якої подібної системи необхідним є в реальному режимі часу ідентифікувати місцезнаходження вагону або локомотиву.

В країнах ЄС реалізована так звана цифрова залізниця, що стало можливим шляхом поєднання систем автоматичного захисту поїздів (Automatic Train Protection (ATP)) та автоматичного контролю поїздів (Automatic Train Control (ATC)) [15]. В основу розробленої та діючої сучасної технології автоматичного керування рухом поїздів ERTMS/ETCS покладено ідею безперервного контро-

лю за перевізним процесом за допомогою сукупності різних технічних засобів, завдяки чому досягається безпечне зменшення інтервалу попутного прямування, а значить збільшення пропускної здатності на мережі залізниць. Технологія координатного регулювання забезпечує гнучку зміну інтервалів в залежності від динамічно мінливої довжини гальмівного шляху составу поїзда та розташування локомотивів і кінцевих вагонів за даними супутникової навігації. Залежно від вимог, що пред'являються до конкретної ділянки залізниці, виділяють чотири основних рівня ETCS: від нульового до третього. На рис. 1 наведено схему роботи ETCS 1 рівня.

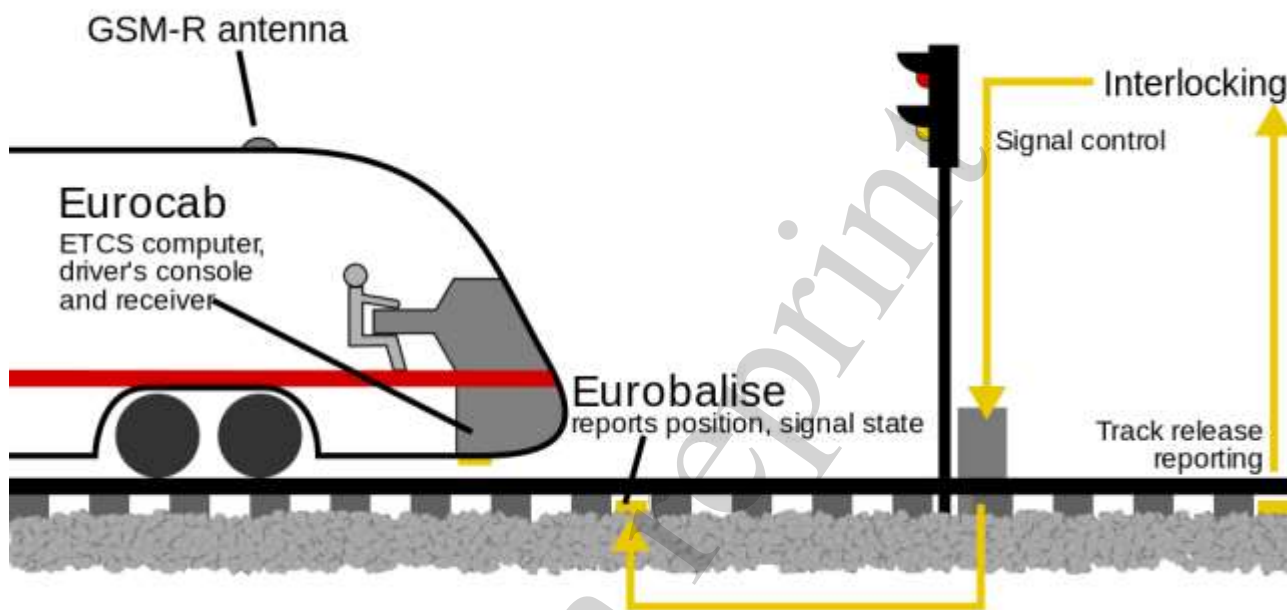


Рис. 1. Схема роботи ETCS 1 рівня

Також системою передбачений рівень NTC (National Train Control – національна система управління рухом поїздів), яка передбачає додаткове оснащення поїзда пристроями для взаємодії з національними системами СЦБ, що не інтегровані в ETCS. Однак впровадження NTC пов'язано зі значними матеріальними та трудовими витратами, з цієї причини використання її не знайшло широкого застосування.

Впровадження штучного інтелекту до управління перевізним процесом веде до глобальних змін в транспортній галузі. Окрім безумовних переваг, таких як зменшення «людського фактору», який відіграє не останню роль в допущенні помилок та прийнятті неправильних рішень збільшуючи ризик настання несприятливої події з негативними наслідками, залишаються відкритими питання скорочення трудових ресурсів та етичні проблеми, що стосуються рішень, які приймаються штучним інтелектом, це в свою чергу можна віднести до так званого «фактору штучного інтелекту». Тому доцільним є приділити увагу розробці СППР, які будуть формувати готові управлінські рішення з остаточним вибором людиною-оператором до перетворення їх в дію.

На залізничному транспорті країни на даний час проходять експерименти з впровадження систем на основі застосування GPS технологій. Дана технологія передбачає встановлення GPS- датчиків на кожен транспортну одиницю, що надає можливість ідентифікувати її в кожний момент часу з наданням наближених до точних координат місця знаходження. До переваг даної технології можна віднести оперативність надходження інформації, порівняно невелику вартість датчиків, наявність готових технічних рішень тощо. Однак слід зауважити, що точність ідентифікації складає від 1 до 5 метрів. Цей факт обмежує застосування даної системи на залізничному транспорті оскільки міжколійна ширина коливається в межах від 4100 міліметрів на перегонах до 5300 міліметрів на станції. Тобто при проходженні поїздів по двоколійній лінії на зустріч вони не можуть бути точно ідентифікованими. Такі ж проблеми постають при ідентифікації вагонів при накопиченні на сортувальних коліях.

Одним з можливих варіантів подолання визначеної проблеми є створення системи ідентифікації рухомого складу. В основу цієї системи буде покладено логічний та фізичний контроль місцезнаходження транспортної одиниці з послідуною автоматизовано-інтелектуальною обробкою інформації і наданням раціонального керуючого рішення по визначенню найкращого варіанту реалізації стратегії роботи оперативного персоналу.

Дане техніко-технологічне рішення передбачає, що на залізничній станції у вхідній і вихідній горловині буде встановлене додаткове обладнання. Дане обладнання буде рахувати кількість осей локомотиву і вагонів, які вийшли зі станції на перегін, а потім також рахує ці вісі при входженні на наступну станцію або при проходженні блок-дільниці. Ці дані по каналах бездротового 5G зв'язку надходять до автоматизованої системи диспетчерського управління рухом поїздів (АСДУРП), яка визначає склад поїзда (повний або не повний поїзд). Таким чином диспетчер може контролювати стан перегону або блок-дільниці. Однак для реалізації автоматизованої системи активного моніторингу цього недостатньо. Необхідно, як раніше було зазначено, точно визначити місцезнаходження кожного вагону. Для цього в АСДУРП повинна бути інформація про склад поїзда і характеристику кожного вагону і локомотиву, який здійснює рух. Передбачається, що дані про вагони та вантаж до АСДУРП будуть надходити з АСК ВП УЗ-Є. Також знадобиться точна інформація в режимі реального часу про швидкість поїзда, яка буде надходити по каналах бездротового 5G зв'язку. На основі об'єднання та аналізу інформації про швидкість руху та довжину поїзду із диференціацією по кожній окремій одиниці стає можливим визначити точну позицію рухомого складу в просторі.

Визначені дані надходять по каналах 5G автоматизованого робочого місця (АРМ) оперативного персоналу регіонального центру управління перевезеннями (РЦУП). Ця інформація є базовою, щодо послідуного прийняття рішення для подальшої реалізації стратегії пропуску поїздів по дільниці. Якщо дільниця обладнана диспетчерською централізацією (ДЦ) типу КАСКАД то диспетчер самостійно виконує дії по приготуванню маршруту прямування поїзду та сам стежить за його просуванням. У разі відсутності ДЦ поїзний диспетчер передає необхідні команди до АРМ чергового по станції по каналах 5G або АСК ВП УЗ-Є.

Зважаючи на значну завантаженість ДНЦ та ДСП постає проблема прийняття оперативного обґрунтованого раціонального рішення щодо пропуску поїздів по дільниці. Оперативному персоналу необхідно постійно вирішувати питання пошуку раціональних варіантів виконання поїзної роботи на станції та дільниці. Такі рішення в основному приймаються на основі власного досвіду кожного працівника. Слід також зауважити, що залізницях колишнього СРСР є певні технічні особливості. В даній науковій роботі увагу буде приділено одноколіїнному руху з напівавтоблокуванням.

Однією з актуальних проблем пропуску поїздів по мережі регіональних філій АТ «Укрзалізниця» є наявність одноколіїчних ділянок, на яких одночасне приймання або безупинний пропуск поїздів з протилежних напрямків не є можливим. Ця умова продиктована умовами забезпечення безпеки руху. В даному випадку процедура приймання та безупинного пропуску зустрічних поїздів регламентується дотриманням спеціальних станційних інтервалів. В даному випадку мова йде про інтервал станційний неодновременного прибуття  $\tau_{np}$ , який представляє собою мінімальний проміжок часу. Цей час визначається від моменту прибуття поїзда на розмежувальний пункт до моменту прибуття чи про слідування через цей пункт поїзда зустрічного напрямку [16].

На рис. 2 відтворено схематичне уявлення  $\tau_{np}$  (виміряється в хвиликах) як елементу графіку руху поїздів, який відображає вхід непарного поїзда під номером 2101 і парного поїзда під номером 2102 на розмежувальний пункт S.

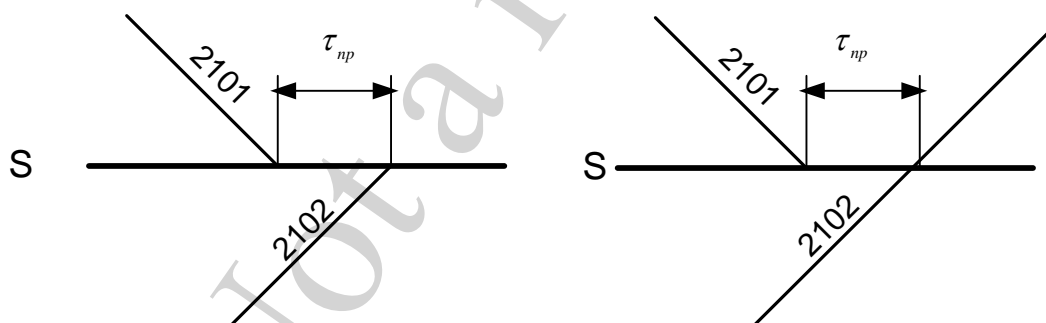


Рис. 2. Схематичне уявлення  $\tau_{np}$  як елементу графіку руху поїздів

На рис. 3 наведено візуальну інтерпретацію визначеної поїзної ситуації.

В даному випадку дії ДНЦ та локомотивної бригади повинні бути чітко скоординованими оскільки  $\tau_{np} \in [1;3]$ . З можливих збоїв в русі поїздів через можливі оперативні обставин порушення цього інтервалу може призвести до значних затримок в русі і як слідство порушення виконання всього ГРП в цілому. Визначена ситуація стає ще більш незадовільною у випадку прямування вантажних поїздів з НВ. Тому прогнозування в реальному режимі часу та швидке реагування на зміну оперативних обставин є основою мінімізації ризиків при прямуванні поїздів з НВ особливо в умовах пасажирського руху, як на перегонах, так і розмежувальних пунктах. При цьому необхідно зауважити, що поряд з такими поїздами на залізниці курсують поїзди з негабаритними вантажами,

підвищеної ваги, підвищеної довжини, поїзди з вантажами з вичерпаним терміном доставки. В цих умовах поїзний диспетчер доволі часто повинен практично миттєво приймати рішення, які в майбутньому можуть призвести до невиправданих техніко-технологічних втрат.

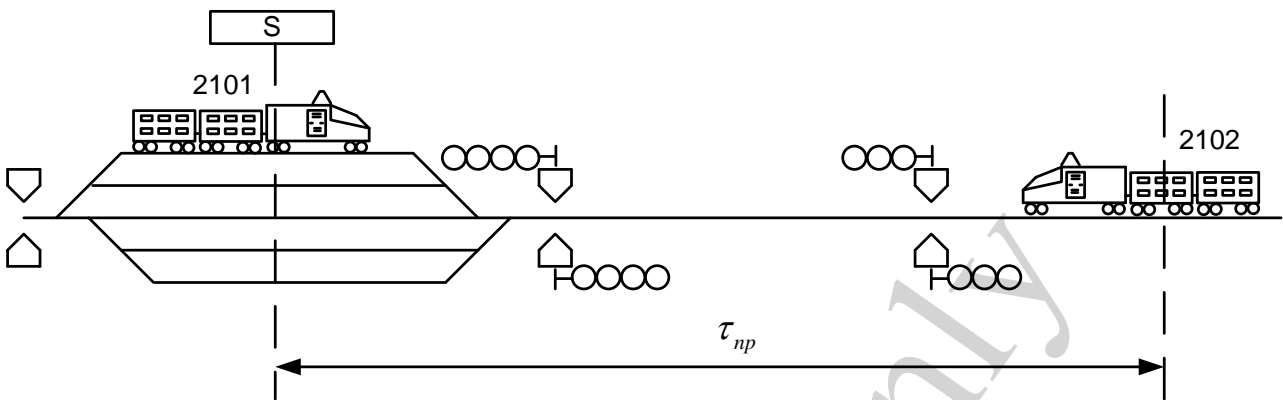


Рис. 3. Візуальна інтерпретацію станційного інтервалу  $\tau_{np}$

Відповідно до зазначеного важливим є формування нової або удосконалення існуючої технології прогнозування раціонального розв'язання транспортних подій з мінімальним ризиком та експлуатаційними витратами.

### 5. Побудова абстрактної моделі оперативних процесів у загальному вигляді та моделювання динамічного корегування довільної поїзної ситуації

Моделювання реальної поїзної ситуації наведеної на рис. 2, 3 з метою її прогнозування та розв'язання у автоматизованому, а в подальшому і в автоматичному режимах, складана науково-прикладна задача.

З метою максимально швидкого реагування на зміну транспортних подій в даній науковій роботі, як зазначалося раніше буде застосовано модифікацію мови поїзних ситуацій (МПС) у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів (АМОП). Саме цей підхід дозволить забезпечити максимально швидко реалізацію алгоритмів прийняття рішень оперативним персоналом при потужній підтримці автоматизованого комплексу диспетчерського управління.

В подальшому  $\tau_{np}$  буде описаний у термінах АМОП. Відповідно до цього  $\tau_{np}$  доцільно представити у вигляді предикату колізії неодночасного прибуття подібним предикату колізії нагону МПС. На відміну від останнього він буде надавати безумовний пріоритет одному поїзду перед іншим щодо першочергового приймання або прослідкування через розмежувальний пункт при зустрічному русі. Таким чином предикат колізії неодночасного прибуття  $\beta_{np}$  можливо виразити наступним чином:

$$\beta_{np}(p_i, p_j, t_n), \quad (1)$$

де  $p_i^{\cdot}$  – умовне позначення поїзда, що рухається в бік розмежувального пункту з непарного напрямку;  $p_j^{\ddot{}}$  – умовне позначення поїзда, що рухається в бік розмежувального пункту з парного напрямку;  $t_n$  – час виконання події (прибуття поїзда на станцію), год.

У загальному вигляді абстрактна модель оперативного процесу прибуття поїздів протилежних напрямків на розмежувальний пункт може бути представлена наступним чином:

$$\beta_{np}(p_i^{\cdot}, p_j^{\ddot{}}, t_n) \Rightarrow (p_i^{\cdot} \chi_{\in s}) \tau_{(\bullet)}(t_n) \& (p_j^{\ddot{}} \chi_{\in s}) \tau_{(\bullet)}(t_n), \quad (2)$$

де  $\chi_{\in}$  – відносна, яка характеризує подію знаходження певного об'єкту на визначеній інфраструктурній складовій (станція, колія, перегін);  $s$  – позначення фізичної складової моделі, яка інфраструктурної складової залізничного підрозділу (залізнична станція);  $\tau_{(\bullet)}(t_n)$  – часова відносна, яка характеризує здійснення події в момент часу  $t_n$ .

Однак такий запис не задовольняє визначеним умовам неодночасного прибуття та самому сенсу предикату колізії  $\beta_{np}$  тому згідно поставлених вимог абстрактна модель оперативного процесу неодночасного прибуття поїздів протилежних напрямків на розмежувальний пункт буде представлена наступним чином:

$$\beta_{np}(p_i^{\cdot}, p_j^{\ddot{}}, t_n) \Rightarrow (p_i^{\cdot} \chi_{\in s}) \tau_{(\bullet)}(t_{n-1}) \& (p_j^{\ddot{}} \chi_{\in s}) \tau_{(\bullet)}(t_{n+1}), \quad (3)$$

Відповідно виразу 3 буде справедливим наступний вираз:

$$\tau_{np} = (t_{n+1}) - (t_{n-1}), \quad (4)$$

Таким чином, складна лінгвістична конструкція, що наведена в роботі [17], може бути представлена у вигляді предикату АМОП та похідної базисної конструкції МПС [18].

Цей підхід значно спрощує моделювання будь-яких транспортних процесів, в основу яких покладено елементи штучного інтелекту з метою подальшої автоматизації визначених процесів.

У якості прикладу змодельємо поїзну ситуацію, яка може виникнути в реальних оперативних обставинах при порушенні нормативного графіку руху поїздів.

На рис. 4 відтворено приклад нормативного графіка руху поїздів (НГРП). Відповідно до цього фрагменту, змодельований варіант його реалізації, який передбачає пропуск наскрізного 2101 поїзда із зупинкою на станції S для схрещення з поїздом 2102.

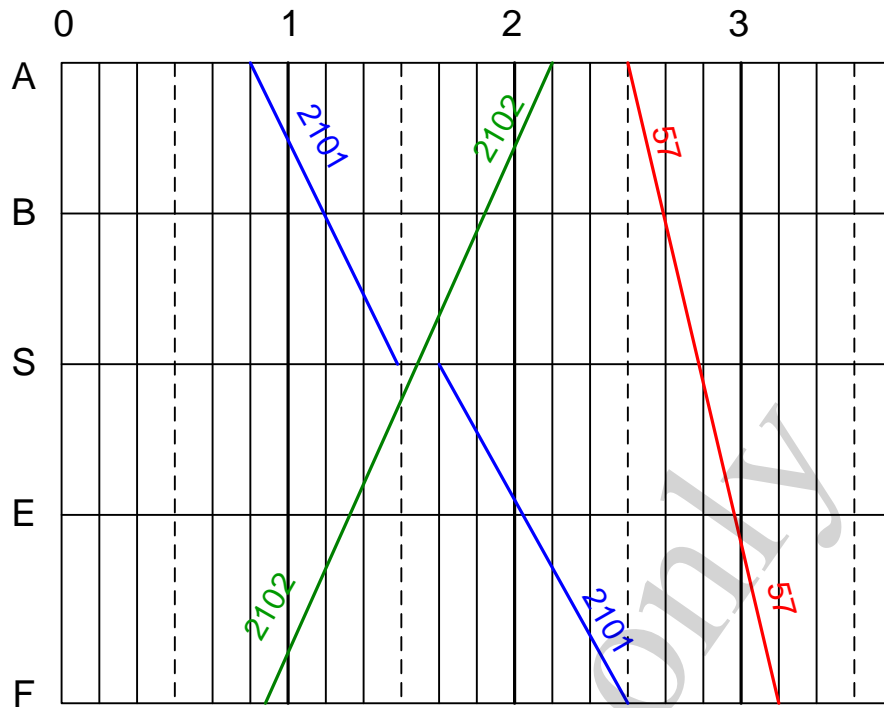


Рис. 4. Фрагмент діючого нормативного графіка руху поїздів

На визначений час по станції S змодельована оперативна ситуація (рис. 5), яка умовно відбиває дотримання розробленого НГРП з рис. 4.

Описуючи ситуацію з рис. 5, важливо відзначити наступне: непарний поїзд доцільно було б пропускати по I головній колії, однак згідно з НГРП по цій колії буде здійснено безупинний пропуск наскрізного вантажного поїзда 2102. В цих умовах 2101 може бути прийнятим на 3 або 5 колію.

Однак оскільки 3 колія зайнята вантажними вагонами (можливо місцевими під навантаження або під вивантаження), то 2101 можливо прийняти на 5 вільну колію. Колія може бути використаною, відповідно технічно-розпорядчого акту станції (ТРА), в тому числі для обслуговування пасажирського руху. Ця колія, як видно з рис. 5, знаходиться біля пасажирської будівлі, розташованої з боку міста.

Слід додати, що на рис. 5 змодельований станційний стан, який відповідає НГРП з точки зору суворого дотримання розкладу руху всіх категорій поїздів. Він відповідає умові рівнозначності 2101 та 2102 поїздів (поїзди без особливих ознак, які розглядалися раніше).

Визначена ситуація на станції може бути описана предикатом колізії  $\beta_{np}$ , який відповідає виразу (3). При цьому для кожного з цих поїздів будуть застосовані відповідні модифікації базисних продукцій [17].

Для прогнозування підходу з послідуочим прийняттям поїзда 2101 на станцію під схрещення з зупинкою будуть застосовані продукції (5) та (6):

$$(p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_n(t^u) \& (p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_{\Delta}(l) \Rightarrow (p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_k(t^u + l), \quad (5)$$

де  $\tau_n(t^\mu)$  – момент часу початку виконання події;  $\tau_\Delta(l)$  – інтервал часу на протязі якого виконується визначена подія;

$$(p_i \chi_{\in d}) \tau_k(t^\mu) \& P_{vp}(d, t^\mu) \Rightarrow (p_i \chi_{\in s}) \tau_n(t^\mu), \quad (6)$$

де  $\tau_k(t^\mu)$  – момент часу закінчення виконання події;  $P_{vp}(d, t^\mu)$  – предикат вільності перегону в момент часу  $t^\mu$ .

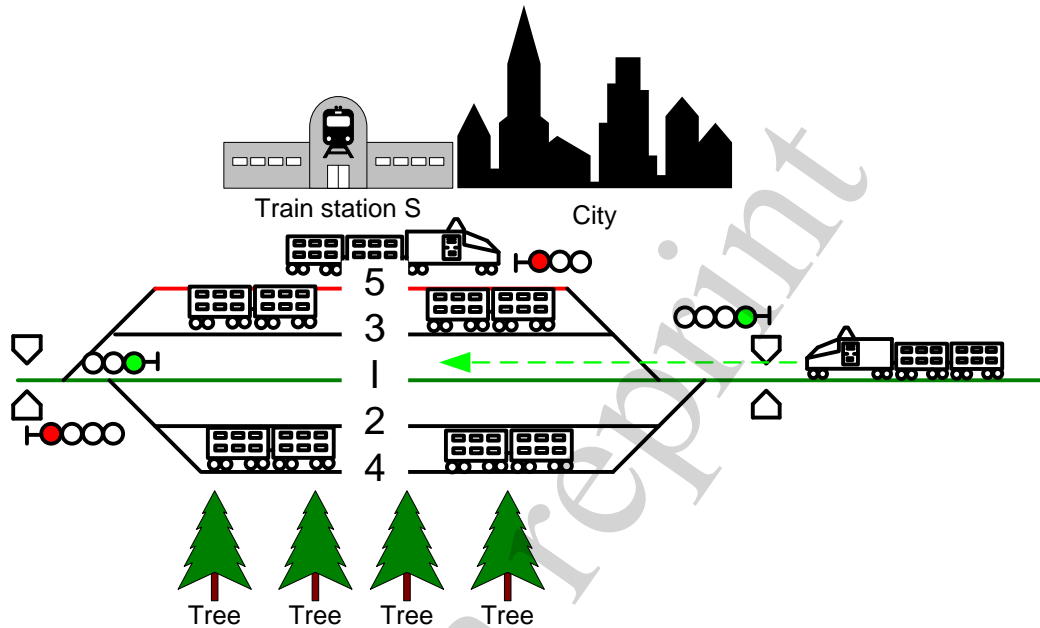


Рис. 5. Візуальна модель поїзного оперативного стану на станції S відповідно діючого НГРП

Для прогнозування підходу з послідуочим беззупинним пропуском поїзда 2102 по станції S будуть застосовані модифікації продукцій (7) та (8):

$$(p_j \chi_{\in d}) \tau_n(t^\mu) \& (p_j \chi_{\in d}) \tau_\Delta(l) \Rightarrow (p_j \chi_{\in d}) \tau_k(t^\mu + l), \quad (7)$$

$$(p_j \chi_{\in s}) \tau_k(t^\mu) \& P_{vp}(d, t^\mu) \Rightarrow (p_j \chi_{\in d}) \tau_n(t^\mu). \quad (8)$$

Таким чином, при застосуванні символічних змінних у коректній формі було записано інтерпретацію когнітивної діяльності людини оператора, щодо розв'язання поїзних оперативних обставин.

Слід зауважити, що оперативні обставини на лінійних залізничних підрозділах та полігонах постійно динамічно змінюються і можуть суттєво відрізнитися від планів, що були складені на зміну чи добу, і тим більше на рік. В цих умовах оперативний працівник, в даному випадку поїзний диспетчер, повинен

прогнозувати наперед такі зміни, а в окремих випадках миттєво приймати обґрунтовані рішення оперативного корегування НГРП.

На рис. 6 змодельований фрагмент графіку виконаного руху поїздів, який відрізняється від раніше наведеного фрагменту НГРП. Видно, що поїзд 2101 відхилився від нормативного розкладу на 10 хвилин і в його складі містяться вагони з НВ, про що свідчить відповідна позначка (2101нв).

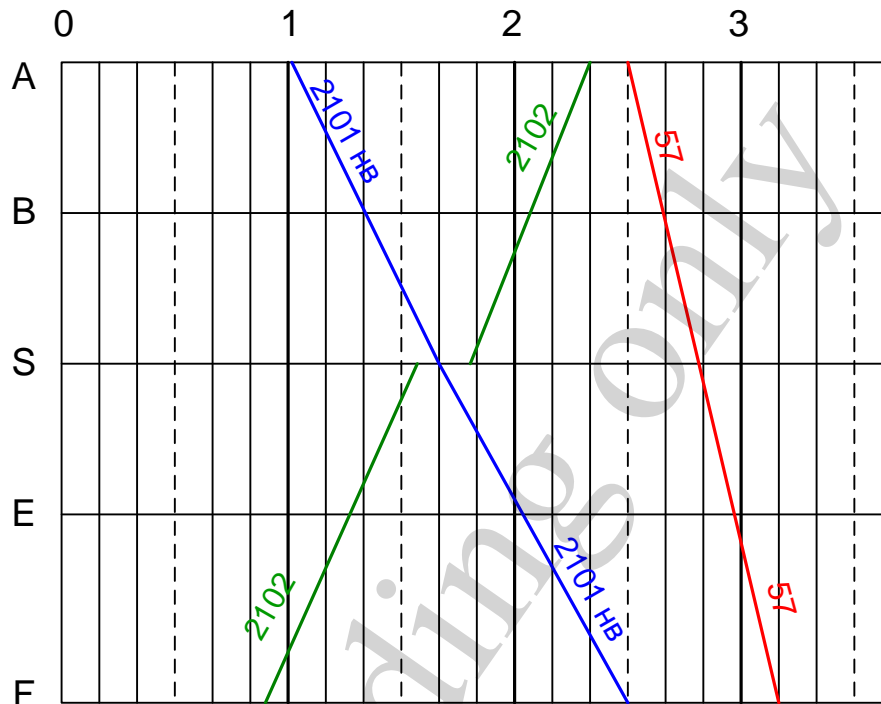


Рис. 6. Фрагмент графіку виконаного руху поїздів

Ситуація ускладнюється тим, що відповідно до ТРА станції S поїзди з НВ заборонено пропускати по 5 колії. Оскільки дана колія використовується для обслуговування пасажирського руху і розташована біля пасажирської будівлі (вокзалу), яка знаходиться у безпосередній близькості з містом.

ДНЦ повинен відкоригувати ГРП таким чином, щоб максимально забезпечити безпеку пасажирів та населення. При цьому (слід?) слід мінімально вплинути на загальну стратегію пересування поїздів по напрямку, оскільки це може призвести до ланцюгової реакції і нанести значних збитків.

На рис. 7 наведено графічну інтерпретацію поїзного стану по станції S, який відповідає виконаному графіку руху поїздів (рис. 6).

В наведеній ситуації, виконаного ГРП, предикат колізії  $\beta_{np}$  може бути виражений наступним чином:

$$\beta_{np}(p_j, p_i, t_n) \Rightarrow (p_j \chi_{\epsilon S}) \tau_{(\cdot)}(t_{n-1}) \& (p_i \chi_{\epsilon S}) \tau_{(\cdot)}(t_{n+1}) \quad (9)$$



лінгвістичних конструкцій, які описують поїзний стан, використовуються короткі, зрозумілі людині, символні конструкції. Завдяки цьому отримується можливість спростити програмний код при реалізації даної технології в автоматизованому вигляді.

Для даної інтегрованої технології диспетчерського управління розроблені контролюючі продукційні правила (5), (6) та їх модифікації (7), (8), (10), (11), які забезпечують контроль технологічної коректності поїзних ситуацій. Розроблені правила виконують функцію прогнозування можливих збоїв і відхилень, що можуть статися в ході технологічного процесу. В даному випадку оперативні працівники, а саме диспетчерський персонал, отримує можливість аналізувати та оптимізувати прийняті рішення в інтерактивному режимі за рахунок продукційних правил та експертну базу знань, що покладені в основу системи.

Однак слід зауважити, що даний підхід має певні обмеження, оскільки на початковому етапі людина-оператор буде повинна запам'ятати певні абстрактні конструкції, які було переротворені з лінгвістичних інтерпретацій. Мається на увазі, що опис поїзних ситуацій, який раніше був описаний цілим реченням, необхідно буде замінити певним символним записом. У якості прикладу можна навести продукцію  $(p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_n(t^m)$ , яку лінгвістично можна навести наступним чином «поїзд №, який знаходиться на станції, необхідно відправити на непарний перегін у визначений час».

Розвиток даного дослідження планується в напрямку остаточного формування автоматизованої технології активного моніторингу з впровадженням на виробництві. Планується розробка унікального, самостійного техніко-технологічного комплексу, який буде в повному обсязі реалізовувати описаний підхід.

Запропонований підхід може бути адаптованим та інтегрованим до діючих автоматизованих систем управління рухом поїздів, таких як автоматизована система керування вантажними або пасажирськими перевезеннями (АСКВПУЗ і АСКППУЗ-Є), або до системи диспетчерського контролю типу КАСКАД.

## 8. Висновки

1. Розроблено підхід щодо динамічного опису поїзних станів в реальному режимі часу на основі модифікації мови поїзних ситуацій у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів. Максимальний ефект від реалізації запропонованого підходу буде отриманий при синтезі з системою активного моніторингу просування рухомих одиниць (АМПРО). Інформація про реальний поїзний стан, яка має динамічний характер, надходить з різних каналів зв'язку: телефонний зв'язок від ДСП; автоматизовані системи АСКВПУЗ-Є, КАСКАД; у вигляді пакету документів на паперових та електронних носіях. На сприйняття, обробку вхідної інформації та подальше прийняття ефективного управлінського рішення оперативним персоналом витрачається багато часу, який є вирішальним та критичним в постійно мінливих умовах надходження нової оперативної інформації, яка змінює наявну поїзну ситуацію. Для узагальнення та систематизації вхідного потоку інформації та додаткових чинників, які впливають на поїзний стан, необхідним є комп'ютеризація процесу, а саме розробка мови ситуа-

ційного управління семіотичного типу. Представлені в роботі продукційні правила покладені в основу модуля інтерпретації та консультування системи диспетчерського управління, яка дозволить диспетчеру не просто прийняти рішення опираючись на оброблену інформацію, а видасть готове управлінське рішення до негайного перетворення в рельний стан.

2. Проведено моделювання довільної ситуації, яка може виникнути в реальних оперативних обставинах при порушенні нормативного графіку руху поїздів. Визначена процедура надала можливість спрогнозувати порушення нормативного ГРП, змоделювати когнітивний процес прийняття рішення поїзним диспетчером для раціонального вирішення складної поїзної ситуації в мінливих оперативних умовах при врахуванні значної кількості факторів.

Запропонований підхід модифікації мови поїзних ситуацій у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів дозволяє покращити якісні показники роботи залізниці, до яких відноситься: час затримки поїздів біля вхідних світлофорів, час простою транзитних вагонів та вагонів з переробкою на станції. Особливу увагу слід приділити комплексному якісному показнику – обігу вагону, який вимірюється в годинах та добах. Даний показник є стратегічно важливим, як з точки зору економіки, так і якості роботи залізничної галузі в сфері транспортування на глобальному рівні. Впровадження даної інтелектуальної технології активного моніторингу до автоматизованих комплексів оперативного диспетчерського персоналу дозволить скоротити час обігу вантажного вагону в межах 15 %, саме цей час припадає на непродуктивні простої вагонів на станції.

## Література

1. Lavrukhin, O., Kovalov, A., Kulova, D., Panchenko, A. (2019). Formation of a model for the rational placement of cars with dangerous goods in a freight train. *Procedia Computer Science*, 149, 28–35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.103>
2. Правила перевезення небезпечних вантажів. Затвердженні наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 25.11.2008 за № 1430 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України від 26.02.2009 за № 180/16196.
3. Буц, Ю. В., Крайнюк, О. В., Козодой, Д. С., Барбашин, В. В. (2018). Оцінка надзвичайних подій під час перевезення небезпечних вантажів у контексті техногенного навантаження регіонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*, 3 (75), 27–35.
4. Козодой, Д. С., Пилипенко, О. В., Матюшенко, С. Ю., Кравченко, Р. О., Романюк, Я. О. (2018). Основні нормативні положення та вимоги при перевезенні залізничним транспортом радіоактивних матеріалів. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*, 105, 124–130. doi: <https://doi.org/10.30838/r.ctm.2415.250918.126.141>
5. Чехунов, Д. М. (2018). Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із використанням математичних апаратів нечіткої логіки та байесових мереж. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 1, 35–41.

6. Бутько, Т. В., Прохорченко, А. В., Музикіна, С. І. (2012). Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі “технічна станція – прилегла дільниця” на базі нечіткої ситуаційної мережі. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 5, 13–16.
7. Drzewieniecka, B., Nowak, M. (2018). Safety Aspect in Carriage of Dangerous Goods by Railway Transport. *New Trends in Production Engineering*, 1 (1), 35–41. doi: <https://doi.org/10.2478/ntpe-2018-0004>
8. Batarlienė, N., Jarašūnienė, A. (2014). Analysis of the accidents and incidents occurring during the transportation of dangerous goods by railway transport. *Transport*, 29 (4), 395–400. doi: <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.983967>
9. Medvedev, V., Oshchepkov, Z., Bogomolova, E., Bogomolov, V. (2019). Dangerous zone during transportation of dangerous goods. *E3S Web of Conferences*, 138, 02019. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913802019>
10. Macciotta, R., Robitaille, S., Hendry, M., Martin, C. D. (2018). Hazard ranking for railway transport of dangerous goods in Canada. *Case Studies on Transport Policy*, 6 (1), 43–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.006>
11. Giacone, M., Bratta, F., Gandini, P., Studer, L. (2012). Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a Global Integrated Information System to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory. *Chemical Engineering Transaction*, 26, 579–584. doi: <http://doi.org/10.3303/CET1226097>
12. Majlingova, A., Pantya, P. (2019). Management of risks associated with dangerous goods transportation. *Vedelem Tudomany*, 2, 220–246. URL: [https://www.researchgate.net/publication/330857275\\_MANAGEMENT\\_OF\\_RISKS\\_ASSOCIATED\\_WITH\\_DANGEROUS\\_GOODS\\_TRANSPORTATION-REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/330857275_MANAGEMENT_OF_RISKS_ASSOCIATED_WITH_DANGEROUS_GOODS_TRANSPORTATION-REVIEW)
13. Zhao, H., Zhang, N., Guan, Y. (2018). Safety Assessment Model for Dangerous Goods Transport by Air Carrier. *Sustainability*, 10 (5), 1306. doi: <https://doi.org/10.3390/su10051306>
14. Ellis, J. (2010). Undeclared dangerous goods – Risk implications for maritime transport. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 9 (1), 5–27. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03195163>
15. Покусаев, О. Н., Климов, А. А., Куприяновский, В. П., Морхат, П. М., Намиот, Д. Е. (2019). Цифровая железная дорога Европы - от ERTMS до искусственного интеллекта. *International Journal of Open Information Technologies*, 7 (7), 90–119.
16. Данько, М. І., Бутько, Т. В., Березань, О. В., Долгополов П. В., Кулешов, В. М., Калашнікова, Т. Ю., Лаврухін, О. В. (2009). Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті. Х.: Укр-ДАЗТ, 183.
17. Бутько, Т. В., Лаврухін, О. В., Доценко, Ю. В. (2010). Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*, 22, 18–26.
18. Долгий, И. Д., Криволапов, С. В. (2012). Динамические модели прогнозирования движения поездов в интеллектуальных системах диспетчерского управления. *Вестник РГУПС*, 4, 75–81.