

УДК 656.222.6

О. В. ЛАВРУХІН^{1*}

^{1*} Каф. «Управління вантажною і комерційною роботою», Український державний університет залізничного транспорту, майд. Фейєрбаха, 7, 61050, Харків, Україна, тел. +38 (057) 730 10 85, ел. пошта: creattel@mail.ru, ORCID 0000-0003-1302-4960

ФОРМУВАННЯ ПІДХОДІВ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЇЗДОПОТОКАМИ З РОЗПОДІЛЕНИМ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Мета. Метою даної наукової роботи є формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління поїздопотоками з розподіленим штучним інтелектом. Це в свою чергу дозволить оперативним працівникам залізниць України найбільш ефективно використовувати техніко-технологічні засоби транспорту. При цьому необхідною умовою реалізації поставленого науково-практичного завдання є використання основних принципів системного підходу для досягнення синергетичного ефекту в галузі вантажних перевезень. **Методика.** Основою реалізації поставленої мети є формування комплексної інтелектуальної системи управління інфраструктурою залізниць України в галузі формування та просування вагоно- та поїздопотоків. В свою чергу в основу зазначеної системи покладено використання сучасних потужних технологій роботи транспорту та математичних методів, які дозволяють адекватно описати дії оперативного персоналу на глобальному рівні при врахуванні всіх можливих варіантів розвитку подій в умовах невизначеності. **Результати.** Сформовано структуру взаємодії різних автоматизованих робочих місць (АРМ) в умовах реалізації системи з розподіленим штучним інтелектом при розробці та реалізації оперативних планів поїзної роботи, яка надає можливості більш ефективної роботи інтелектуального автоматизованого комплексу управління експлуатаційною роботою на залізницях України. Також в даній науковій роботі було сформовано структурну схему взаємодії АРМ робітників різних рівнів в умовах реалізації системи з розподіленим штучним інтелектом в основу функціонування якої покладено визначені та систематизовані задачі, які будуть вирішуватися на відповідних контурах управління перевізним процесом, що в цілому дозволить у оперативному режимі вирішувати задачі експлуатації при формуванні і просуванні вагоно- і поїздопотоків. **Наукова новизна.** Було вперше сформовано комплексну модель управління формуванням та просуванням вагоно- та поїздопотоків, в основу якої було покладено основні принципи побудови моделей зі штучним інтелектом, що дозволяє оперативному персоналу залізниць швидко і адекватно реагувати на мінливі умови експлуатаційного процесу. **Практична значимість.** Оперативний персонал залізниць України отримав потужний інструмент управління експлуатаційною роботою в галузі вантажних перевезень. Техніко-експлуатаційна ефективність розглянутих підходів та методів їх реалізації ґрунтується на швидкому і адекватному отриманні раціональних сценаріїв при просуванні поїздопотоків по залізницях.

Ключові слова: оперативний персонал, синергетичний ефект, автоматизоване робоче місце, інтелектуальна система управління, експлуатаційна робота, поїздопотоки.

Цель. Целью данной научной работы является формирование подходов для реализации системы поддержки принятия решений оперативного управления поездопотоками с распределенным искусственным интеллектом. Это в свою очередь позволит оперативным работникам железных дорог Украины наиболее эффективно использовать технико-технологические средства транспорта. При этом необходимым условием реализации поставленной научно-практической задачи является использование основных принципов системного подхода для достижения синергетического эффекта в области грузовых перевозок. **Методика.** Основой реализации поставленной цели является формирование комплексной интеллектуальной системы управления инфраструктурой железных дорог Украины в области формирования и продвижения вагоно- и поездопотоків. В свою очередь в основу указанной системы положено использование современных мощных технологий работы транспорта и математических методов, которые позволяют адекватно описать действия оперативного персонала на глобальном уровне при учете всех возможных вариантов развития событий в условиях неопределенности. **Результаты.** Сформирована структура взаимодействия различных автоматизированных рабочих мест (АРМ) в условиях реализации системы с распределенным искусственным интеллектом при разработке и реализации оперативных планов поезда работы, которая предоставляет возможности более эффективной работы интеллектуального автоматизированного комплекса управления эксплуатационной работой на железных дорогах Украины. Также в данной научной работе была сформирована структурная схема взаимодействия АРМ работников разных уровней в условиях реализации системы с распределенным искусственным интеллектом в основу функционирования которой положены определенные и си-

стематизовані задачі, які будуть вирішуватися на відповідних контурах управління перевізним процесом, що в цілому дозволить в оперативному режимі вирішувати задачі експлуатації при формуванні і русі вагонів і потягів. **Наукова новизна.** Вперше сформована комплексна модель управління формуванням і русом вагонів і потягів, в основу якої були покладені основні принципи побудови моделей з штучним інтелектом, що дозволяють оперативному персоналу залізничних доріг швидко і адекватно реагувати на змінюючіся умови експлуатаційного процесу. **Практична значимість.** Оперативний персонал залізничних доріг України отримав потужний інструмент управління експлуатаційною роботою в області вантажних перевезень. Техніко-експлуатаційна ефективність розглянутих підходів і методів їх реалізації ґрунтується на швидкому і адекватному отриманні раціональних сценаріїв при русі потягів по залізничних дорігах.

Ключові слова: оперативний персонал, синергетичний ефект, автоматизоване робоче місце, інтелектуальна система управління, експлуатаційна робота, потяги.

Purpose. The purpose of this scientific work is to develop approaches for the implementation of a decision support system with distributed artificial intelligence for operational management of train traffic. This in turn will allow for operating personnel of Ukrainian railways to use technical and technological means of transport in a most efficient way. In this case, a necessary condition to perform the above theoretical and practical problem is to use the basic principles of a systematic approach for achieving a synergistic effect in the field of freight traffic. **Methodology.** The basis for realization of the above goal is to develop an integrated intelligent control system for infrastructure of Ukrainian railways in the field of formation and movement of car and train traffic volume. In turn, this system is based on powerful modern technologies of transport work and mathematical methods that allows to give a proper description for actions of operating personnel at the global level, taking into account all possible scenarios in conditions of uncertainty. **Findings.** It has been formed an interaction structure of various automated workstation (WKS) in conditions of implementation of the system that use a distributed artificial intelligence for creation and realization of operational plans for train working, and provides the ability of more efficient work of smart automated control complex for exploitation work on the railways of Ukraine. Also in this scientific work it has been formed a block diagram for interaction of automated workstation of different levels workers in conditions of implementation of the system with a distributed artificial intelligence. This system operation is based on defined and systematized tasks that will be solved at the appropriate traffic control circuits, which generally allows on an on-going basis to solve operating problems during formation and movement of car and train traffic volume. **Originality.** For the first time it is formed a complex model of management for formation and movement of car and train traffic volume, based on the basic principles of building the models with artificial intelligence. That allows for operating personnel of railways quickly and adequately responds to the changing conditions of the operational process. **Practical value.** Operating personnel of Ukrainian railways received a powerful tool for managing operational work in the field of freight traffic. Technical and operational efficiency of the considered approaches and methods of their implementation is based on a fast and adequate receiving of rational scenarios in movement of car and train traffic volume by rail.

Keywords: operating personnel, synergistic effect, automated workstation, intelligent control system, exploitation work, train traffic volume.

Вступ

Управління експлуатаційною роботою на залізничному транспорті представляє собою складний технологічний процес раціонального використання інфраструктури залізниць. На даному етапі розвитку залізничного транспорту постають завдання виходу з кризового стану, який обумовлено як ситуацією в Україні так і за її межами. Згідно до цього постає масштабне науково-прикладне завдання підвищення техніко-економічної ефективності функціонування залізниць України. Згідно до цього необхідним є удосконалення існуючих та формування нових технологій виконання експлуатаційної роботи.

В роботах [1-5] було сформовано основні інтелектуальні модулі, які необхідно об'єднати в єдину комплексну інтелектуальну систему з розподіленим штучним інтелектом. Згідно до

цього необхідно сформувати основну умову функціонування зазначеної системи з її подальшою деталізацією та синтезом окремих інтелектуальних модулів в єдину комплексну систему підтримки прийняття рішень оперативного персоналу. В основу даної системи необхідно покласти принципи формування і функціонування систем з розподіленим штучним інтелектом.

В роботах [6, 7] було виконано вдалу спробу сформувати інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень на базі автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці. Однак слід зауважити, що дана система є локальною по відношенню до всієї ієрархії оперативного управління.

В роботах [8, 9] досліджені питання побудови математичних моделей оцінки техніко-технологічних показників роботи залізничної станції. В даному випадку слід зауважити, що

автор не ставив перед собою розробку глобальною системою функціонування та оцінки якості всієї структури оперативного управління перевезеннями.

Зважаючи на проведений аналіз можна констатувати факт актуальності і своєчасності поставленого науково-практичної проблеми.

Методика

Відповідно до поставленої науково-прикладної проблеми постає необхідність формування комплексної інтелектуальної системи управління поїзною роботою на всіх рівнях оперативного управління. Таким чином до складу зазначеної системи повинні увійти наступні інтелектуальні модулі:

- модуль визначення оптимальних параметрів оперативного плану перевезень ΔN ;
- модуль визначення оптимального плану місцевої роботи залізничних дільниць R ;
- модуль визначення оптимальних параметрів економічної доцільності прийняття поїздів на залізничну станцію $Q(m)$;
- модуль щодо визначення раціональної колії прийому за умови дотримання параметрів безпечної експлуатації S ;
- модуль пріоритетного формування поїздів P ;
- модуль визначення мінімальних приведених витрат щодо пріоритетного формування поїздів C ;
- модуль визначення пріоритетного відправлення поїздів на дільниці K .

Результати

Далі, використовуючи основні принципи системного підходу, доцільно сформулювати загальну умову отримання синергетичного ефекту E_C від синтезу розроблених моделей [10, 11]. Згідно до цього, необхідним є виконання операції об'єднання процедур функціонування розробленого комплексу моделей [12] в наступному вигляді

$$E_C = \Delta N \cup R \cup Q(m) \cup S \cup C \cup P \quad (1)$$

Основною вимогою щодо реалізації систем з розподіленим штучним інтелектом є динамічна інформаційна міжрівнева та внутрішня взаємодія автоматизованих робочих місць, яка надає можливості до більш ефективної роботи інтелектуального автоматизованого комплексу управління об'єктом транспортної мережі і у повному обсязі проявляє синергетичний ефект.

Передбачено, що всі розроблені інтелектуальні модулі управління оперативною роботою будуть функціонувати в середовищі розробки та реалізації оперативних планів роботи як єдина система.

Слід зауважити, що початковою ланкою ланцюга просування поїздів є черговий по станції, він знаходиться на нижньому рівні контуру реалізації оперативних планів поїзної роботи тому доцільно почати формування єдиної технології просування поїздів саме з цієї посади. Необхідно додати, що зазначена система призначена для раціональної та безпечної роботи чергового по станції при прийнятті або пропуску поїздів по станції. Модель визначення колій приймання та пропуску повинна надавати оперативному працівнику можливість визначати раціональні параметри стосовно вибору парку та номеру колії. Дотримання визначених параметрів, черговим по станції, дозволить виконувати експлуатаційну роботу щодо пропуску поїздів більш якісно та безпечно, що в свою чергу забезпечить виконання планів поїзної роботи розроблених в контурі «розробки та затвердження оперативних планів роботи». Для раціонального функціонування інтелектуального модуля, необхідно визначити в який спосіб черговий по станції буде отримувати кінцеву інформацію щодо визначеного парку та колії приймання або пропуску поїзду. Відповідно до цього доцільно відобразити схематичну інтерпретацію етапності формування та видачі даних черговому по станції щодо приймання поїзду, яку відтворено на рис. 1.

На першому етапі відбувається ідентифікація рухомої одиниці в умовах функціонування діючої автоматизованої систем передачі інформації та перспективних систем стеження за рухомими об'єктами до яких відносяться АСК ВП УЗ-Є. При функціонуванні даних систем інформацію про оперативний поїзний стан будуть вводити чергові по станції тобто ідентифікація поїздів відбувається у автоматизованому режимі за умови впливу людського фактору, що буде негативно відбиватися на безпеці руху та якості виконання експлуатаційної роботи. Автоматизованою системою, яка дозволяє мінімізувати вплив людського фактору при забезпеченні інформаційного супроводження під час руху поїздів є МСДЦ «Каскад», яка відтворює у автоматичному режимі слідування рухомого складу по перегонах (блок-дільницях) та розмежувальних пунктах (станціях, роз'їздах, обгінних пунктах).

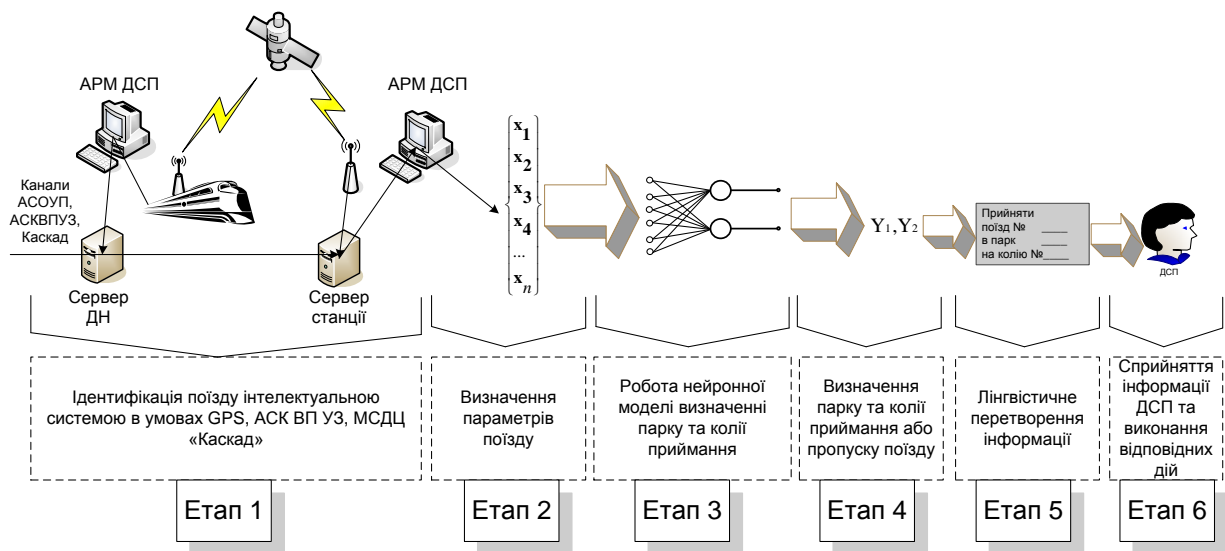


Рис. 1. Схематична інтерпретація етапності формування та видачі даних ДСП при виконанні поїзної роботи на станції

Інформаційну підтримку щодо слідування поїзда, забезпечує автоматизований комплекс на основі даних, що надходять від колійних датчиків розташованих в межах диспетчерської дільниці.

Найбільш перспективними системами автоматичної ідентифікації рухомого складу у реальному режимі часу є системи, які базуються на застосуванні системи глобального супутникового позиціонування Global Positioning System (GPS). Ця система дозволяє отримувати точні данні про місцезнаходження рухомої одиниці в реальному режимі часу (з незначним відставанням), що надає можливості найбільш раціонально реалізувати інтелектуальну систему приймання та пропуску поїздів по станціям.

На другому етапі на основі інформації, яка надійшла по зазначених каналах зв'язку, відбувається визначення основних параметрів, які характеризують основні техніко-технологічні якості поїзду.

На третьому етапі починається процедура визначення колії приймання або пропуску поїзда по станції на основі активації сформованої двошарової нейронної мережі [13], вхідними параметрами [14, 15] для якої є вектор даних $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

На четвертому етапі отримуються конкретні закодовані значення парку та колії приймання або пропуску поїзда.

На п'ятому етапі повинна виконуватися операція декодування отриманих даних етапу 4. Причому слід зазначити, що для раціональної роботи інтелектуальної системи доцільно за-

стосовувати зрозумілий (дружній) інтерфейс, який буде легко сприйматися людиною-оператором (черговим по станції). Відповідно до цього зазначену операцію декодування доцільно виконувати при застосуванні лінгвістичної форми. Згідно цього пропонується наступна лінгвістична форма, яка може вважатися елементом бази знань інтелектуальної системи прийняття та пропуску поїздів по залізничних станціях (табл. 1).

На шостому етапі, керуючись отриманими лінгвістичними порадами, черговий по станції безпосередньо виконує відповідні операції на блоці управління (пульт-табло) або на АРМ ДСП.

Таблиця 1

Перетворення значень вихідного вектору нейронної мережі в лінгвістичну форму

Операція	Код нейронної мережі	Лінгвістична форма
Приймання	Y_1, Y_2	«Прийняти поїзд № xxxx в парк Y1 на колію Y2»
Пропуск	Y_1, Y_2	«Пропустити поїзд № xxxx в парк Y1 по колії Y2»

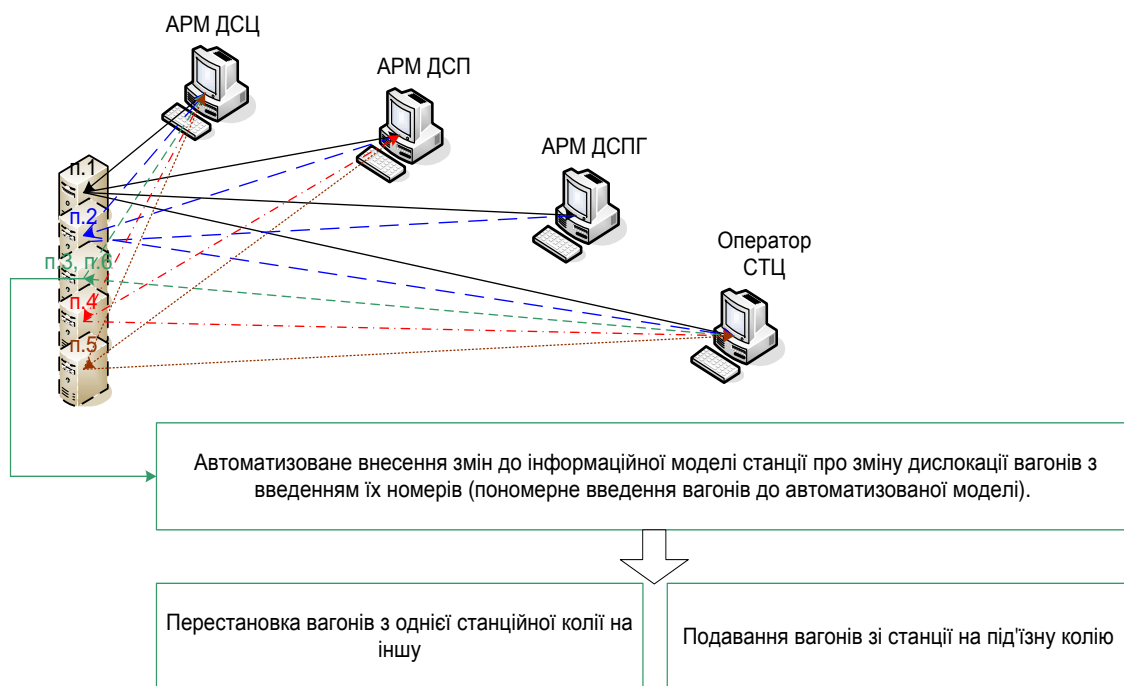
Сформований інтелектуальний модуль прийняття та пропуску поїздів, за умови реалізації його при використанні GPS, додатково буде запобігати відправленню поїздів на зайнятий перегін, що дозволить перевести безпеку експлуатаційної роботи на більш високий якісний рівень.

Опис технології функціонування контуру виконання оперативних планів доцільно продовжити формуванням процедури виконання місцевої роботи дільниці, оскільки вона є основою для формування технології просування поїздотоків по напрямках.

Відповідно до цього, необхідно відтворити процедуру вивезення вагонів з місцевим вантажем із проміжних та вантажних станцій дільниці. Виконання даної функції безпосередньо забезпечують маневровий та поїзний диспетчери. Причому перший повинен забезпечувати моніторинг за процесом накопичення вагонів на поїзди різних категорій, а другий повинен забезпечити розробку плану місцевої роботи та визначення необхідної кількості локомотивів

для забезпечення виконання місцевої роботи.

Слід зазначити, що на даний момент практично на всіх технічних та крупних вантажних станціях процедура автоматизованого моніторингу за процесом накопичення вагонів на поїзди різних категорій здійснюється на основі поетапного введення інформації про вагонний стан операторами станційного технологічного центру. Детальна схема виконання операцій та передачі відповідних повідомлень, які забезпечують автоматизований облік часу простою вагонів на станції (в сортувальному та відправному парку) та під'їзних коліях наведена на рис. 2.



де п. 1 – повідомлення про номер колії парку приймання та номер поїзду, який підлягає першочерговому розформуванню (передається від поїзного диспетчера (ДСЦ) для ДСП, чергового по сортувальній гірці (ДСПГ) та оператора станційного технологічного центру (СТЦ));

п. 2 – повідомлення про безпосереднє виконання (п.1) (передається від ДСП та ДСПГ для ДСЦ та оператора СТЦ);

п. 3 – повідомлення про початок автоматизованого відліку часу з моменту постановки вагонів на накопичувальну колію станції до фактичного відправлення вагонів зі станції (передається від оператора СТЦ до ДСЦ)

п. 4 – повідомлення про номер колії та кількість вагонів, які будуть переставлятися на іншу колію станції або подаватися на під'їзну колію (передається від ДСЦ для ДСП та оператора СТЦ);

п. 5 – повідомлення про безпосереднє виконання (п.4) (передається від ДСП для ДСЦ та оператора СТЦ);

п. 6 – повідомлення про початок автоматизованого відліку часу з моменту подавання вагонів на під'їзну колію до моменту повернення вагонів на колію станції (передається від оператора СТЦ до ДСЦ).

Рис.2. Принципова схема передачі повідомлень, які забезпечують автоматизований облік часу простою вагонів на станції

Як видно з рис. 2 моніторинг за простоєм вагонів на станції складний процес зі значним впливом людського фактору. Для зменшення впливу цього фактору та підвищення точності

обліку простою, а також підвищення продуктивності праці, як і у попередньому випадку, пропонується застосовувати GPS-технологію, яка дозволить виконувати операції пов'язані з облі-

ком знаходження вагонів на станції у автоматичному режимі. При даній технології, введення інформація вручну буде здійснюватися тільки один раз клієнтом або прийомоздавачем, а в подальшому інформація буде надходити «від колеса». В даному випадку мається на увазі, що всі розрахунки будуть автоматичними починаючи від визначення місця дислокації вагону і закінчуючи обліком часу, який вагон знаходив-

ся на тому чи іншому елементі колійного розвитку станції. Таким чином введення інформації про стан вагону буде не поетапним, а постійним тобто термін – моніторинг набуває повного сенсу. Для реалізації цієї технології необхідно оснастити кожний вагон, який має право курсувати по коліях УЗ GPS-датчиком. Таким чином, схема відображена на рис. 2 буде трансформована в схему наведену на рис. 3.

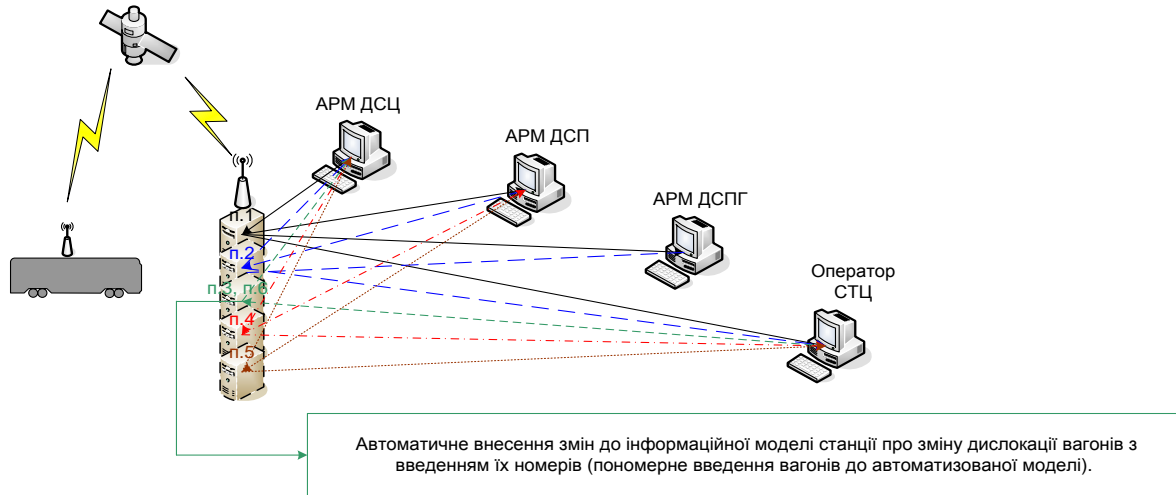


Рис. 3. Принципова схема передачі повідомлень, які забезпечують автоматичний облік часу простою вагонів на станції

Далі доцільно описати процедуру визначення способу обслуговування станцій дільниці локомотивами. На рис. 4 відтворено процес

визначення кількості локомотивів та спосіб обслуговування станцій дільниці на основі генетичного алгоритму.

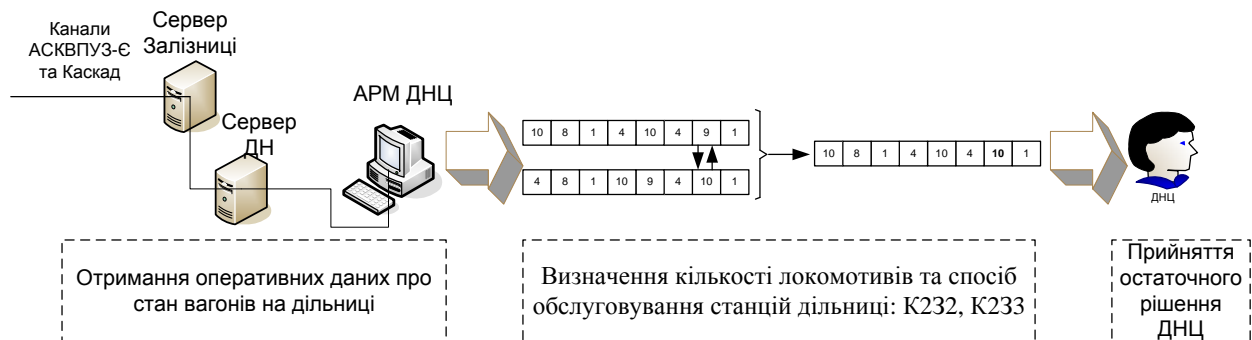


Рис. 4. Схематичне представлення процесу визначення кількості локомотивів та спосіб обслуговування станцій дільниці на основі генетичного алгоритму

Як видно з рис. 4 передбачається, що всі данні для розрахунку прогнозних значень терміну надходження поїздів з місцевим вантажем надходять по каналах АСК ВП УЗ-Є та МСДЦ «Каскад». В майбутньому для отримання достовірних даних про місцезнаходження вагонів з місцевим вантажем та виконання прогнозних розрахунків щодо часу їх надходження на станції призначення доцільно застосовувати GPS-технології.

Після виконання процедури прогнозування часу надходження вагонів на станції для вико-

нання з ними вантажних операцій, сформована модель на базі генетичного алгоритму, визначає раціональну послідовність їх обслуговування та розраховує необхідну кількість локомотивів.

Для визначення послідовності обслуговування станцій, ДНЦ у автоматизованому режимі, пропонується розробка відповідного інтерфейсу, який дозволить після впровадження до існуючих АРМ ДНЦ реалізувати сформовану модель (рис. 5).

Відповідно розробленого інтерфейсу, поїзний диспетчер повинен обрати опцію «розрахувати послідовність на добу». Після того як було отримано послідовність, ДНЦ затверджує її або скасовує. Далі, поїзний диспетчер може обрати опцію «відобразити послідовність на добу», яка надає можливість відтворити графічну інтерпретацію розрахованої послідовності. Слід за-

уважити, що у зв'язку з тим, що в процесі виконання експлуатаційної роботи можуть виникати непередбачені події, які можуть вплинути на розроблений оперативний план виконання місцевої роботи до АРМ ДНЦ передбачається додати опції, які дозволяють відкоригувати розроблений план: «скорегувати послідовність», «відобразити корегування».

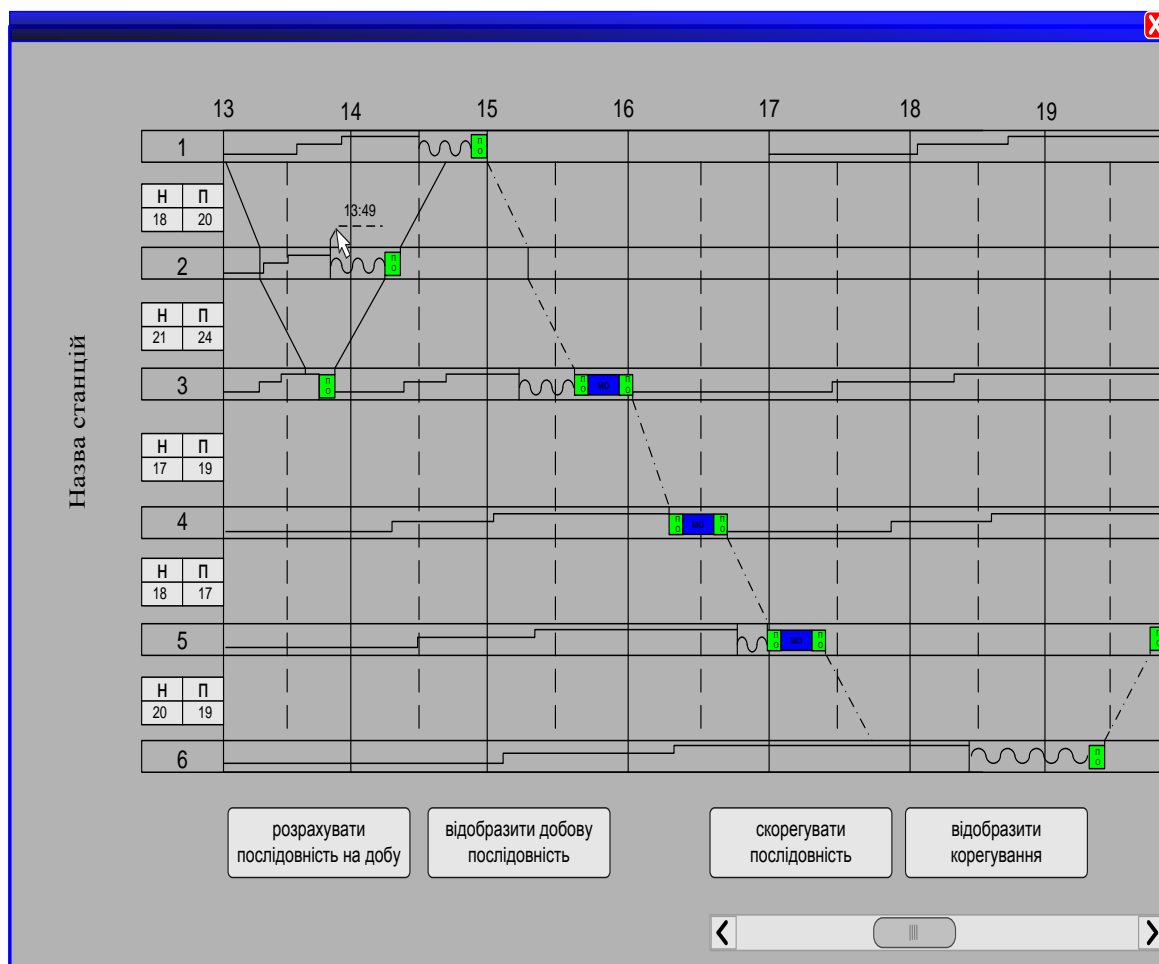


Рис. 5. Графічне відтворення обраного варіанту виконання місцевої роботи на АРМ ДНЦ

Після того як було вирішено задачі пов'язані з плануванням та виконанням місцевої роботи на диспетчерській дільниці, необхідно вирішити двохзадачний комплекс щодо виконання експлуатаційної роботи пов'язаної з формуванням та просуванням поїздпотоків, шляхом визначення пріоритетного формування составів для АРМ ДСЦ та задачі для АРМ ДНЦ.

Визначені задачі є взаємозалежними оскільки для їх вирішення маневровий диспетчер повинен тісно взаємодіяти з поїзним диспетчером при визначенні черговості формування поїздів на станції з метою послідовного найбільш раціонального просування їх по дільницям.

Відповідно зазначеного на рис. 6 наведено візуальну інтерпретацію формування плану поїздоутворення на залізничній станції в умовах функціонування АРМ ДСЦ.

З рис. 6 видно, що після того як буде завершено етап «функціонування моделі нечіткого висновку щодо визначення пріоритетного формування поїздів», починається етап «формування висновку у лінгвістичній формі». Це в свою чергу можливо при існуванні бази знань за типом «ситуація-дія» [16], яка дозволить на основі оперативної ситуації, що склалася на станції надати раціональне рішення у лінгвістичній формі, щодо пріоритету формування поїздів.

Оскільки оперативна поїзна ситуація на ста-

нції постійно змінюється, вирішальну таблицю бази знань достатньо сформувати за типом «си-

туація-дія» для крайніх значень вхідних параметрів (табл. 2).

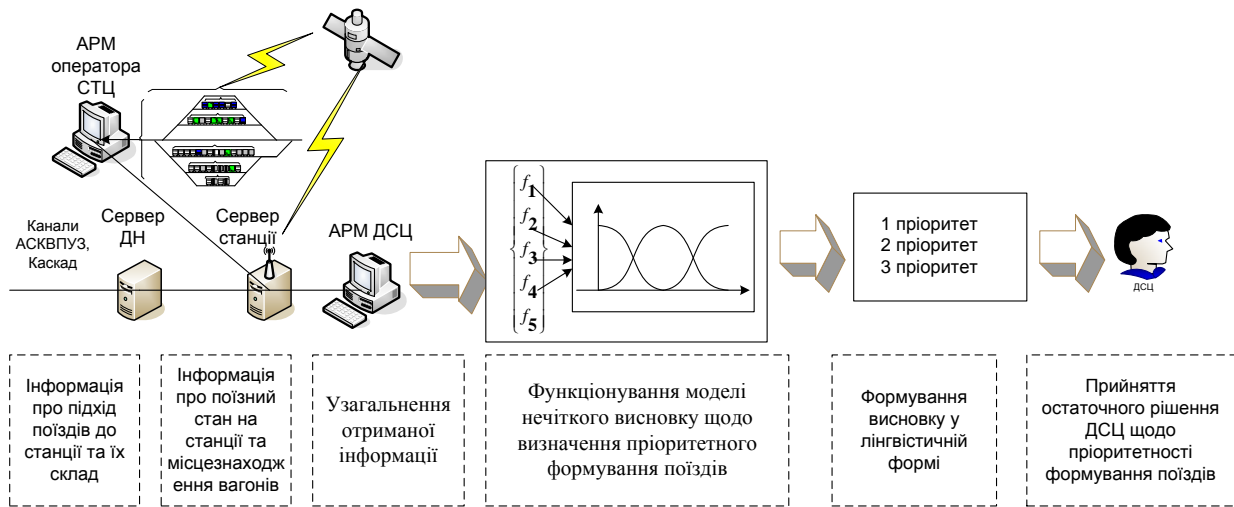


Рис. 6. Візуальна інтерпретація формування плану поїздоутворення на залізничній станції

Таблиця 2

Вирішальна база знань за типом «ситуація-дія» для крайніх значень вхідних параметрів

Назва ситуації	Характеристика ситуації	Визначення пріоритету
S_1	$\langle "m_v", 50в \rangle \rightarrow$ "поїзд" $\langle "n", 1п \rangle \rightarrow$ "мінімальне значення" $\langle "Δr_{ng}", 0г \rangle \rightarrow$ "доцільно" $\langle "Δv_{pr}", 0г \rangle \rightarrow$ "доцільно"	1 пріоритет поїзду
S_2	$\langle "m_v", 40в \rangle \rightarrow$ "неповносогнаний поїзд" $\langle "n", 3п \rangle \rightarrow$ "середнє значення" $\langle "Δr_{ng}", 1г \rangle \rightarrow$ "доцільно" $\langle "Δv_{pr}", 1г \rangle \rightarrow$ "недоцільно"	2 пріоритет поїзду
S_3	$\langle "m_v", 1в \rangle \rightarrow$ "групавагонів" $\langle "n", 10п \rangle \rightarrow$ "максимальне значення" $\langle "Δr_{ng}", 3г \rangle \rightarrow$ "недоцільно" $\langle "Δv_{pr}", 2г \rangle \rightarrow$ "недоцільно"	3 пріоритет поїзду

В даному випадку ситуації S_1, S_2, S_3 це множини ситуацій, в результаті виникнення яких поїзду можливо надати відповідно перший, другий, третій пріоритет тобто:

$$S_1 = \{s_1^1, s_1^2, \dots, s_1^q\},$$

$$S_2 = \{s_2^1, s_2^2, \dots, s_2^w\},$$

$$S_3 = \{s_3^1, s_3^2, \dots, s_3^e\},$$

де q, w, e – відповідно кількість ситуацій, в результаті виникнення яких буде отримано перший, другий, третій пріоритет.

Слід зазначити, що запропонований підхід окрім ДСЦ має суттєве значення і для ДНЦ

оскільки задача – планування поїздоутворення як правило у оперативних умовах вирішується цими двома працівниками. Завдяки вирішенню цієї задачі АРМ поїзного диспетчера може завчасно скласти, у автоматичному режимі, план відправлення поїздів зі станцій дільниці з підв'язкою їх до ниток графіку руху поїздів.

Необхідно зазначити, що при вирішенні завдань пов'язаних з поїзною роботою одним з основних завдань, які покладено на ДНЦ, є просування поїздів по дільниці. Відповідно до цього доцільно визначити інтелектуальний модуль, який дозволить поїзному диспетчеру найбільш раціонально керувати поїздопотоками у оперативному режимі.

Одним з основних експлуатаційних показників залізничного транспорту, який характеризує якість його роботи та вважається невід'ємним елементом технічного нормування роботи залізничних підрозділів є обіг вантажного вагону. Цей показник на даний момент використовують лише як звітний і фактично не використовується в оперативній роботі. Відповідно до цього при формуванні інтелектуального модуля який описує технологію оперативного просування поїздопотоків доцільно розглянути можливість використання параметру обігу вантажного вагону та його елементів не тільки як звітних, але як оперативних показників. Згідно з цим доцільно сформувати автоматизовану процедуру просування поїздопотоків на основі врахування основних елементів обігу вантажного вагону.

Слід зазначити, що така процедура була б не раціональною якщо вона буде локальною по

відношенню до окремої диспетчерської дільниці. Тому дана технологія просування поїздопотоків спрямована не на покращення експлуатаційних показників окремої дільниці або дирекції, а має своєю метою отримання найбільшого прибутку від перевезень за рахунок системного підходу.

Для раціонального виконання даної процедури, необхідно сформувати систему підтримки оперативного персоналу (ДНЦ), яка дозволить

у оперативних умовах приймати раціональні рішення щодо черговості відправлення поїздів зі станцій відповідно діючого графіку руху. На рис. 7 наведено візуальну інтерпретацію формування плану просування поїздів по дільниці з урахуванням елементів обігу вантажного вагону шляхом визначення пріоритетності їх відправлення з розмежувальних пунктів в умовах функціонування АРМ ДНЦ.

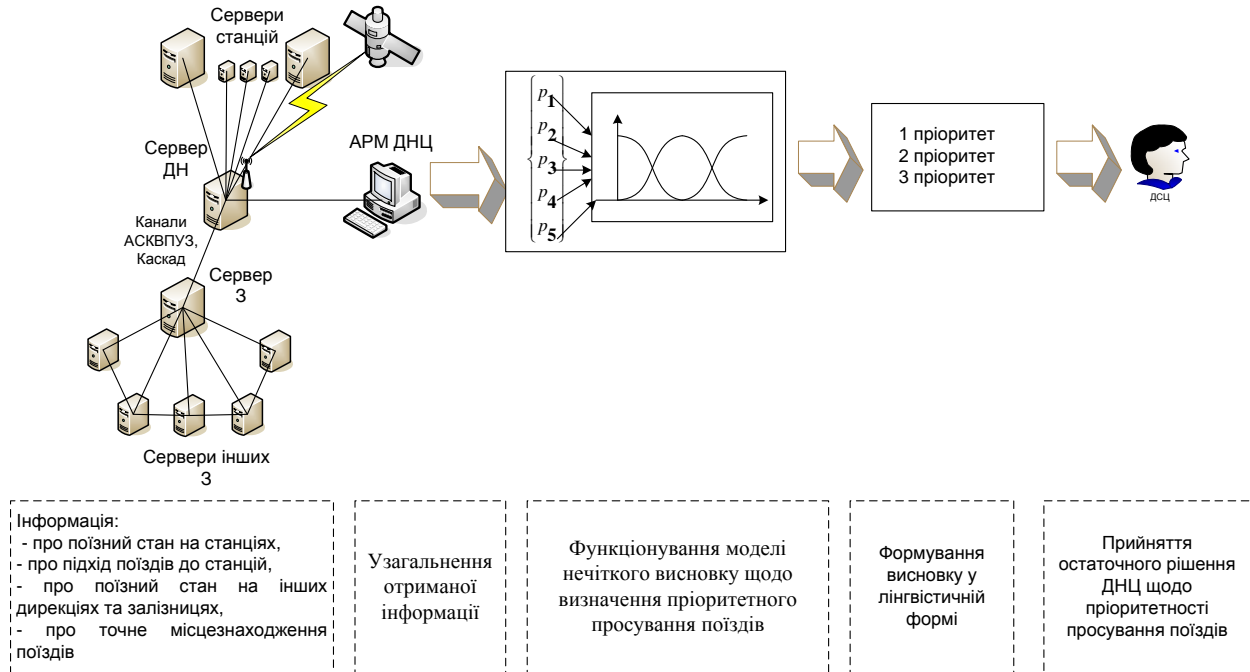


Рис. 7. Візуальна інтерпретація процедури пріоритетного просування поїздопотоків

В даному випадку, після того як буде завершено етап «функціонування моделі нечіткого висновку щодо визначення пріоритетного просування поїздів» починається етап «формування висновку у лінгвістичній формі». Це в свою чергу можливо при існуванні бази знань за типом «ситуація-дія», яка дозволить на основі оперативної ситуації, що склалася на полігонах Укрзалізниці, надати раціональне рішення у лінгвістичній формі щодо пріоритету пропуску поїздів по дільниці.

Формування вирішальної таблиці бази знань буде базуватися на визначенні «ситуацій-дій» для крайніх значень вхідних параметрів (табл. 3).

В даному випадку ситуації V_1 , V_2 , V_3 це множини ситуацій в результаті виникнення яких поїзду при відправленні з розмежувального пункту можливо надати відповідно перший, другий, третій пріоритет тобто:

$$V_1 = \{v_1^1, v_1^2, \dots, v_1^z\},$$

Таблиця 3

Вирішальна база знань за типом «ситуація-дія» для крайніх значень вхідних параметрів

Назва ситуації	Характеристика ситуації	Визначення пріоритету
V_1	$\langle "p_1", 100\% \rangle \rightarrow$ "критичний" $\langle "p_2", 50\% \rangle \rightarrow$ "поїзд" $\langle "p_3", 60\% \rangle \rightarrow$ "макс. значення" $\langle "p_4", 20\% \rangle \rightarrow$ "мін. значення" $\langle "p_5", 20\% \rangle \rightarrow$ "мін. значення"	1 пріоритет поїзду
V_2	$\langle "p_1", 45\% \rangle \rightarrow$ "середній" $\langle "p_2", 25\% \rangle \rightarrow$ "ядро" $\langle "p_3", 20\% \rangle \rightarrow$ "мін. значення" $\langle "p_4", 40\% \rangle \rightarrow$ "середн. значення" $\langle "p_5", 40\% \rangle \rightarrow$ "середн. значення"	2 пріоритет поїзду
V_3	$\langle "p_1", 0\% \rangle \rightarrow$ "низький" $\langle "p_2", 25\% \rangle \rightarrow$ "ядро" $\langle "p_3", 20\% \rangle \rightarrow$ "мін. значення" $\langle "p_4", 40\% \rangle \rightarrow$ "серед. значення" $\langle "p_5", 40\% \rangle \rightarrow$ "серед. значення"	3 пріоритет поїзду

$$V_2 = \{v_2^1, v_2^2, \dots, v_2^x\},$$

$$V_3 = \{v_3^1, v_3^2, \dots, v_3^c\},$$

де z, x, c – відповідно кількість ситуацій, в результаті виникнення яких буде отримано перший, другий, третій пріоритет.

Сформована процедура щодо визначення

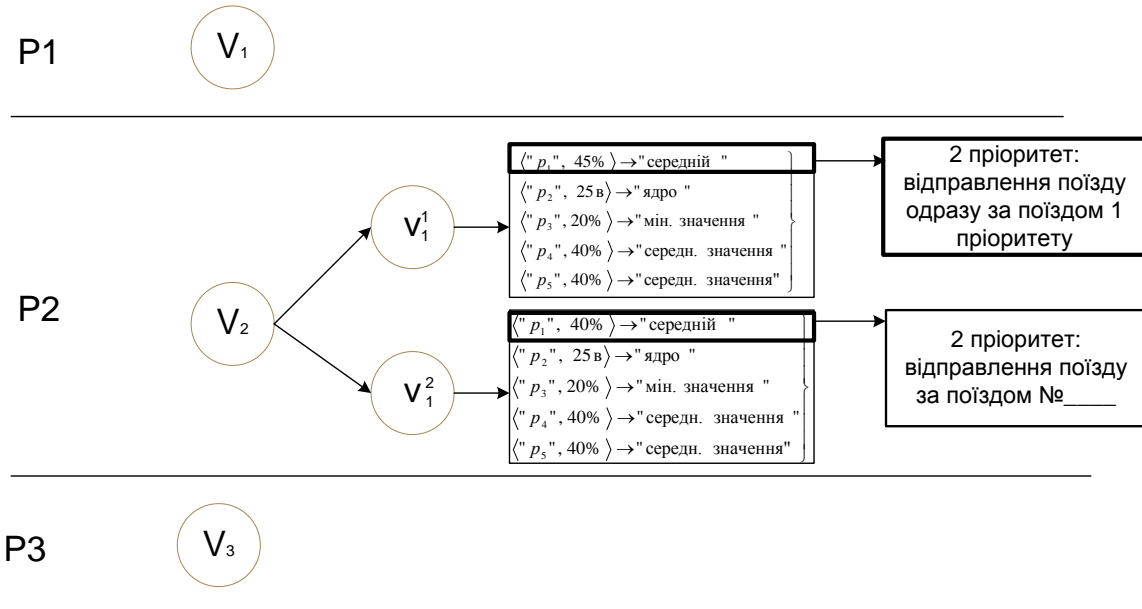


Рис. 8. Візуальна інтерпретація послідовності дій при відправленні поїздів з однаковими пріоритетами

З рис. 8 видно, що фактично в результаті функціонування моделі отримано дві ситуації, виникнення яких призведе до отримання двох поїздів другого пріоритету але ознаки ситуації v_1^1 в більшому ступеню відповідають першому пріоритету ніж v_1^2 оскільки при подальшому зменшенні параметру p_1 ситуація V_2 перейде у ситуацію V_3 .

Таким чином, було сформовано технологію автоматизованої розробки плану пропуску поїздів по дільницях, яка дозволяє на основі аналізу оперативної ситуації, що склалася на полігонах Укрзалізниці надати раціональне рішення у лінгвістичній формі щодо пріоритету пропуску поїздів по дільниці.

Таким чином було визначено всі інтелектуальні модулі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

Для отримання синергетичного ефекту зазначеного у виразі 1 необхідно відтворити внутрішню взаємодію усіх розроблених інтелектуальних модулів в єдину стійку систему.

На рис. 9 наведено структурну схему конт-

пріоритету при просуванні поїздопотоків, дозволяє поїзному диспетчеру обирати конкретну ознаку як головну при прийнятті рішення у випадку якщо в результаті функціонування моделі було отримано два або більше однакових пріоритети. Візуальну інтерпретацію даної події наведено на рис. 8.

ролю за дотриманням вимог інтелектуальної автоматизованої системи оперативного управління перевезеннями, яка дозволяє піднести технологію процесу перевезень на новий якісний рівень.

Наукова новизна та практична значимість

В даній науковій роботі було вперше розроблено комплексну модель управління формуванням та просуванням вагоно- та поїздопотоків, в основу якої було покладено основні принципи побудови моделей зі штучним інтелектом, що дозволяє оперативному персоналу залізниць швидко і адекватно реагувати на мінливі умови експлуатаційного процесу. З практичної точки зору, слід зазначити, що оперативний персонал залізниць України отримав потужний інструмент управління експлуатаційною роботою в галузі вантажних перевезень. Техніко-експлуатаційна ефективність розглянутих підходів та методів їх реалізації ґрунтується на швидкому і адекватному отриманні раціональних сценаріїв при просуванні поїздопотоків по залізницях.

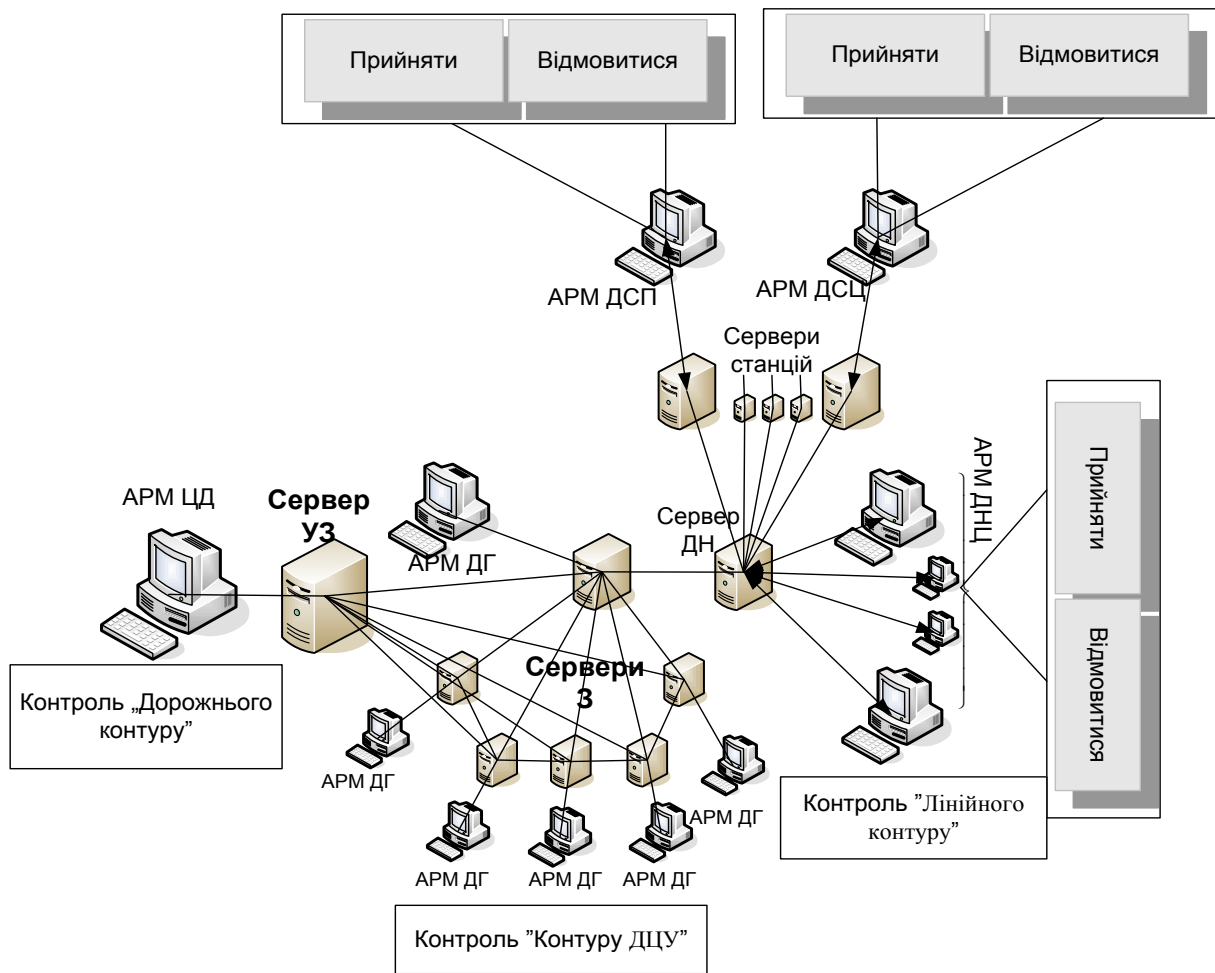


Рис. 9. Структурна схема контролю за дотриманням вимог інтелектуальної автоматизованої системи оперативного управління перевезеннями

Висновки

До основних висновків даної роботи доцільно віднести:

1. Сформовано структуру взаємодії різних АРМ в умовах реалізації системи з розподіленим штучним інтелектом при розробці та реалізації оперативних планів поїзної роботи, яка надає можливості більш ефективної роботи інтелектуального автоматизованого комплексу управління експлуатаційною роботою на залізницях України. Також в даній науковій роботі було сформовано структурну схему взаємодії АРМ робітників різних рівнів в умовах реалізації системи з розподіленим штучним інтелектом в основу функціонування якої покладено визначені та систематизовані задачі, які будуть вирішуватися на відповідних контурах управління перевізним процесом, що в цілому дозволить у оперативному режимі вирішувати задачі експлуатації при формуванні і просуванні вагоно- і поїздопотоків.

2. Було вперше сформовано комплексну мо-

дель управління формуванням та просуванням вагоно- та поїздопотоків, в основу якої було покладено основні принципи побудови моделей зі штучним інтелектом, що дозволяє оперативному персоналу залізниць швидко і адекватно реагувати на мінливі умови експлуатаційного процесу.

3. Оперативний персонал залізниць України отримав потужний інструмент управління експлуатаційною роботою в галузі вантажних перевезень. Техніко-експлуатаційна ефективність розглянутих підходів та методів їх реалізації ґрунтується на швидкому і адекватному отриманні раціональних сценаріїв при просуванні поїздопотоків по залізницях.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лаврухін, О. В. Удосконалення системи оперативного планування при вирішенні задачі поїздоутворення в умовах нечіткої вихідної інформації [Текст] / О. В. Лаврухін, Ю. В. Доценко // Вісник донецької акад. автомоб. трансп. – 2011. – Вип. 1. – С. 42-50.

2. Лаврухін, О. В. Розробка підходів щодо пріоритетного формування поїздів на основі застосування інтелектуальних методів [Текст] / О. В. Лаврухін // 36. наук. праць. – Донецьк : ДонІЗТ, 2011. – Вип. 25. – С. 32-38.
3. Лаврухін, О. В. Визначення цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів зі станції [Текст] / О. В. Лаврухін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Вип. 2/10 (50). – С. 20-22.
4. Лаврухін, О. В. Формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління з розподіленим штучним інтелектом [Текст] / О. В. Лаврухін // 36. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 27. – С. 18-25.
5. Лаврухін, О. В. Формування основ щодо розробки автоматизованої інтелектуальної системи управління рухом вантажних поїздів на станції [Текст] / О. В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : наук.-техн. журнал. – Харків, 2011. – Вип. 3. – С. 3-8.
6. Жуковицький, І. В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ [Текст] / І. В. Жуковицький, В. В. Скалзуб, А. Б. Устинко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 17. – С. 28-34.
7. Жуковицький, І. В. Напрямки побудови електронного документообігу на підприємствах УЗ [Текст] / І. В. Жуковицький, М. М. Пойманов // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті : тези Міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 11-12.
8. Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций [Текст] / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 45. – С. 22-28.
9. Козаченко, Д. Н. Объектно-ориентированная модель функционирования железнодорожных станций [Текст] / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 46. – С. 47-55.
10. Спицнадель, В. Н. Основы системного анализа : уч. пособие [Текст] / В. Н. Спицнадель. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
11. Сурмин, Ю. П. Теория систем и системный анализ : уч. пособие [Текст] / Ю. П. Сурмин. – Киев: МАУП, 2003. – 368 с.
12. Теория систем и системный анализ в управлении организациями : справочник [Текст] / под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. – Москва: Финансы и статистика, 2006 – 848 с.
13. Hecht-Nielsen, R. The mathematics of thought [Text] / R. Hecht-Nielsen, G. Yen, D. Fogel // Computational intelligence. Computational Intelligence Society, Piscataway, NJ, (2006). – p. 1-16.
14. Akhmet, M. Neural networks with discontinuous [Text] / M. Akhmet, E. Yilmaz // Springer, 2014, – 176 p.
15. Smith L. [Electronic resource] / L. Smith // An Introduction to Neural Networks. Unpublished draft, University of Stirling, 2001. Access mode – <http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro/InvSlides.html>.
16. Sandler, U. Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic [Text] / U. Sandler, L. Tsitolovsky // Springer, 2008. – 478pp.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Альошинським Є. С. (Україна); д.т.н., проф. Озарем О. М. (Україна)

Надійшла до редколегії 26.12.2014.

Прийнята до друку 27.12.2014.