

УДК 656.256:681.32

DOI: 10.34029/2311-4061-2023-146-1-04-15

Д-р техн. наук Мойсеєнко В.І.

Д-р техн. наук Ломотько Д.В.

Канд. техн. наук Гасвський В.В.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ

IMPROVEMENT OF TRAIN TRAFFIC CONTROL SYSTEMS BASED
ON THE PRINCIPLES OF SELF-ORGANIZATION

Ключові слова: системи керування рухом поїздів, людино-машинний інтерфейс, Індустрія 4.0, самоорганізація, людський фактор.

Вступ

Системи залізничної автоматики починають оновлюватися, і у найближчий час цей процес буде особливо актуальним у транспортних коридорах, що ведуть до країн Євросоюзу. Це пов'язане, у першу чергу, з організацією перевезень сільськогосподарської продукції. Крім того, будуть розширені роботи по будівництву в Україні евроколії 1435 мм, що потребує нових технічних рішень для систем керування рухом поїздів (СКРП) на відповідних перегонах та станціях [1].

Проблеми модернізації залізничної галузі необхідно узгоджувати з сучасними тенденціями розвитку науки та техніки, приймаючи до уваги той факт, що індустріальний світ все твердіше стає на шлях використання інструментів Четвертої промислової революції – «Індустрія 4.0». Цей етап характеризується глибокими інтеграційними процесами, що все більше витісняють людину з ланки прийняття рішень та інформаційного обміну завдяки застосуванню промислового інтернету речей, штучного інтелекту, машинного навчання тощо.

Слід зазначити, що вказані процеси не минули і транспортну галузь. Розвиток систем керування рухом поїздів напряму залежить від світових тенденцій їх розвитку, що характеризуються якісними та кількісними змінами не тільки техніки, але й уявлень людей. Тому їх дослідження є доцільними та актуальними.

Постановка проблеми

Сучасний розвиток систем керування рухом поїздів базується на використанні інформаційно-комп'ютерних (цифрових) технологій, які теж мають дуже стрімкий розвиток. Не зважаючи на суттєві відмінності мікропроцесорних систем від релейних, існуючі СКРП все так само не відповідають повною мірою вимогам часу. У більшості вони будуються за ідеологією старих систем залізничної автоматики та телемеханіки і не використовують існуючі на теперішній час можливості надання системам додаткових функцій і сучасних технологій збору та передачі в режимі онлайн, обробки та зберігання даних. Окрім того інформаційна взаємодія систем з експлуатаційним (оперативним) та технічним персоналом залишається дуже критичною стосовно «людського фактору».

У зв'язку з цим доцільно розглянути питання удосконалення чи навіть повної заміни принципів побудови сучасних СКРП як систем, що будуються на принципах самоорганізації, з урахуванням тенденцій розвитку інструментів «Індустрія 4.0» та «Індустрія 5.0».

Аналіз досліджень та публікацій

Необхідність розширення функцій існуючих СКРП та напрямки їх подальшого розвитку почали досліджуватися досить недавно. Одним із прикладів цих пошуків може служити робота [2], у якій розглянуті проблеми подальшого розвитку інформаційно-керуючих систем із застосуванням підходів та інструментів «Індустрії 4.0» – хмарних обчислювань, штучного

інтелекту, машинного навчання тощо. Було запропоновано модель прийняття рішень про працездатність системи та надання їй можливості подальшої безпечної експлуатації, використання якої дозволяє побудову систем керування рухом поїздів з можливістю аналізу власних показників діяльності та дій експлуатаційного і технічного персоналу, та на підставі цього проводити корегування власного алгоритму функціонування. Питання побудови систем з самоорганізацією досить докладно розглянуті в роботах Месаровича М., Такахари Я., Друзя В., Самсонкіна В., Балтовського О., Ісмайлова К., Сіфорова О., Фороса Г., Зайця О. [4-12]. Це класичні роботи, в яких викладена загальна теорія систем і системний аналіз, теорія функціональних систем. Окремо слід відзначити роботи Варенка В., Братуся І., Дорошенка В., Смольнікова Ю., Юрченка В. «Системний аналіз інформаційних процесів» [13] та Прищака М. і Леська О. «Психологія управління в організації» [14]. Всі наведені вище роботи можуть розглядатись як наукове підґрунтя інноваційних процесів на залізничному транспорті.

Перші спроби реалізації основних наукових положень теорії систем з урахуванням так званого «людського фактору» були зроблені професором Самсонкіним В. в роботах [4, 5, 8], який перевів загальнотеоретичні питання у площину проблем залізничної галузі. Його фахові дослідження досить добре узгоджувались з науковими результатами Біра С., Месаровича М., Судакова К., Заде Л. та Ешбі У.Р., присвячених загальній проблематиці самоорганізації у різних галузях [4-15]. Це дозволило започаткувати дослідження для надання СКРП нових функцій та можливостей.

Мета та задачі дослідження

Дослідження та удосконалення методології побудови СКРП за рахунок надання системі керування нових функцій та можливостей шляхом застосування принципів самоорганізації.

Виклад основного матеріалу

Більшість систем керування рухом поїздів, що на теперішній час експлуатуються на залізницях, функціонують таким чином, що це майже не залежить від процесу технічного обслуговування (ТО) системи керування. Системи керування не знаходяться у діалоговому режимі з людиною-оператором, не оцінюють його компетентність і правильність алгоритму його дій у відповідальних ситуаціях, не контролюють своєчасність, повноту та якість проведення ТО.

Статистичні дані свідчать, що значна кількість порушень безпеки руху відбувається саме через помилки технічного персоналу при проведенні технічного обслуговування, тобто через «людський фактор» [2].

Існуюча система технічної експлуатації СКРП включає в себе набір експлуатаційних та ремонтно-відновлювальних робіт, нормативних документів і організаційних компонентів.

В процесі експлуатації система інформує про своє функціонування:

- оперативний (експлуатаційний) персонал;
- технічний персонал.

Ця інформація автоматично транслюється в «Підсистему експлуатації» та «Підсистему технічного обслуговування (ТО)», як на рівні прикладного програмного забезпечення (ППЗ), так і на рівні технічного обслуговування.

Обидві ці підсистеми є джерелом даних для підсистеми безпеки руху (БР), тобто технічна справність програмних і апаратних засобів систем та вірні дії експлуатаційного персоналу забезпечують нормальну роботу підсистеми БР. Ревізорський апарат отримує інформацію як від самої СКРП, так і від підсистем безпеки руху: випадки катастроф, аварій, інцидентів при неузгодженості роботи підсистеми ТО і підсистеми експлуатації (рис. 1).

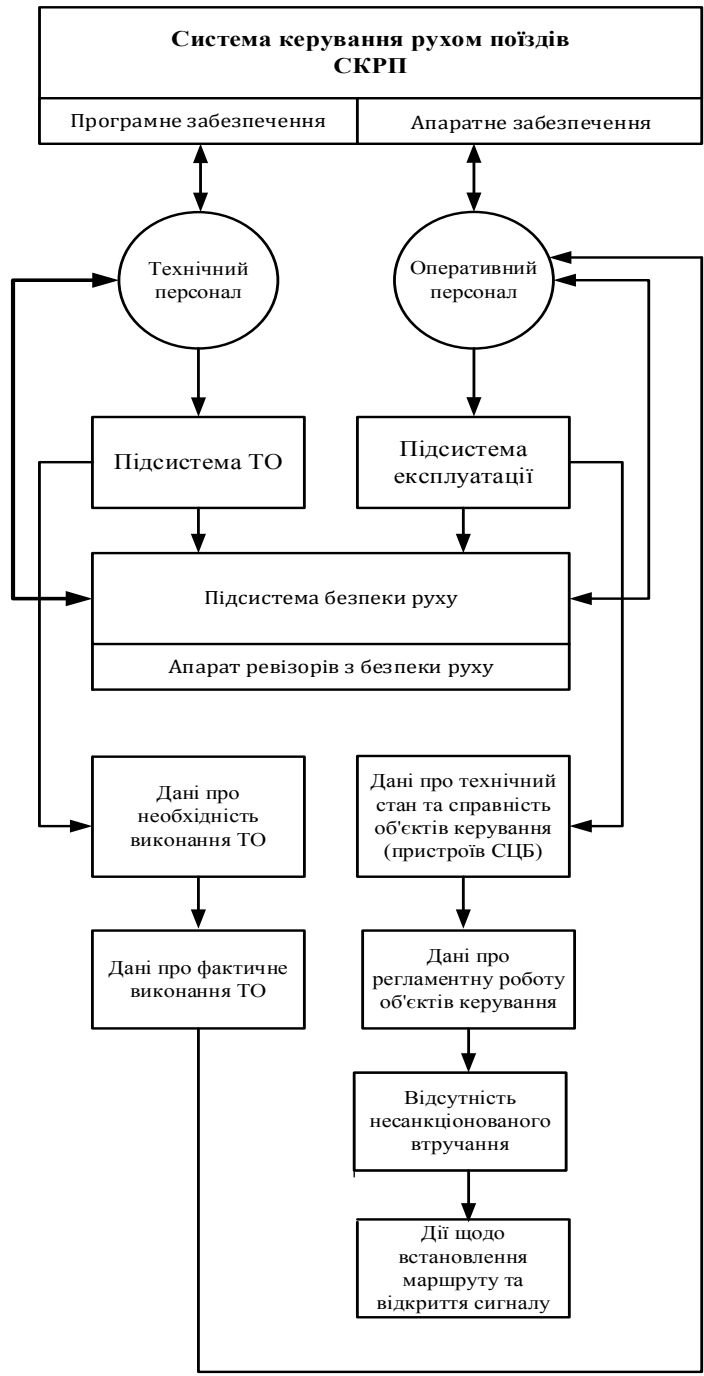


Рис. 1 – Узагальнена структурна блок-схема СКРП

Для подальшого дослідження механізмів взаємодії підсистем ТО та технічної експлуатації була синтезована графоаналітична модель, що відображає процеси взаємодії компонентів мікропроцесорних систем керування рухом поїздів (рис. 2).

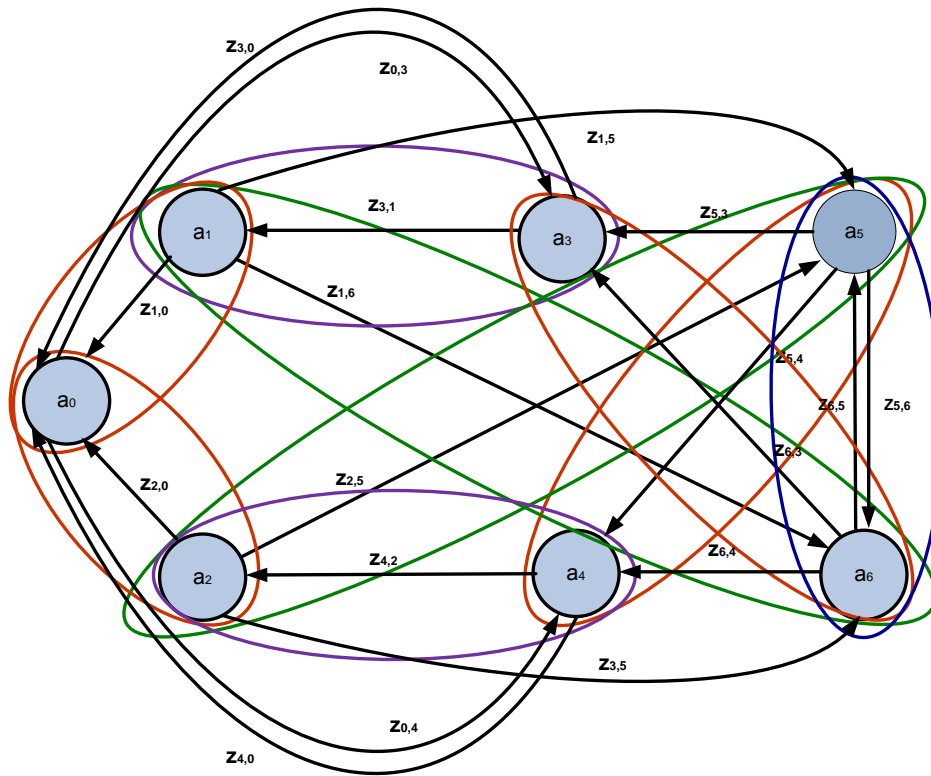


Рис. 2 – Графоаналітична модель взаємодії компонентів СКРП

Відповідність вершин графів з елементами схеми на рисунку 2 визначається таким чином:

- a_0 – підсистема безпеки руху та апарату ревізорів;
- a_1 – підсистема технічного обслуговування (ТО);
- a_2 – підсистема експлуатації;
- a_3 – технічний персонал;
- a_4 – оперативний персонал;
- a_5 – апаратне забезпечення;
- a_6 – програмне забезпечення.

Подальший аналіз графоаналітичної моделі дозволив визначити головний недолік традиційного підходу, який полягає у відсутності об'єктивного контролю надійності і безпечності як оперативного, так і технічного персоналу, що перешкоджає підвищенню функційної безпеки технічної експлуатації СКРП. Наразі необхідно мінімізувати ці негативні впливи за рахунок інтеграції існуючої практики і знань про експлуатацію та обслуговування (Operation and maintenance, O&M) з новими цифровими технологіями. Згідно з EN 50126 [3] одним з технічних принципів для функційної безпеки системи керування рухом поїздів є наявність відомостей про процес їх експлуатації, проведення ТО та контролю якості його виконання, розробка заходів щодо уникнення небезпечних станів систем та зменшення небезпечних наслідків, з урахуванням впливу «людського фактору».

Системи керування рухом поїздів, транспортно-логістичні, промислові та інші системи «людина – об'єкт керування – середовище» (або гуманістичні системи) є системами, що самоорганізуються. Проблема самоорганізації зараз набуває ще більшого значення, ніж декілька років тому, що можливо пояснити багатьма обставинами, але найважливішими є:

- практично невичерпні можливості інтернету та комп'ютерної техніки у підтримці прийняття рішень, що дозволяє окремій людині використовувати необмежені ресурси для вирішення індивідуальних завдань;

- розвиток цифрових технологій та науково-технічного прогресу, що призвели до реалізації комплексних завдань з розробки безлюдних технологій, практичної реалізації штучного інтелекту, машинного навчання, тощо як ключових складових процесу самоорганізації.

- використання концепції ризик-менеджменту, тобто керування ризиками, що стало основним принципом управління, життя та діяльності людини та людства.

Загалом, це стало передумовою виникнення нового підходу до систематизації проблеми керування.

Прагнення людини розширити можливості систем керування докорінно змінило обсяги інформаційного обміну, тривалості його збереження та швидкості переробки. Це необхідно передусім там, де автоматичні системи керування повинні майже повністю виключити присутність людини в середовищах підвищеної небезпеки. Побудова таких систем вимагає розпізнавання різних впливів зовнішнього середовища та організації адекватної й адаптивної до цих впливів поведінки та відповідної реакції СКРП. Для досягнення цієї мети необхідно знати: як відбувається процес впливу середовища і утворення строго локалізованих та розмежованих впливів, що відображають відповідні фактори середовища, як відбувається узагальнення і інтеграція родинних класів явищ та утворення логічних зв'язків між цими узагальненнями, як складнішим рівнем організовані відносин у цьому ж середовищі. Вирішення цих завдань приводить до необхідності побудови систем, що самонавчаються. Це є одним із основних ознак самоорганізації, оскільки процес навчання безпосередньо пов'язаний з виникненням нових понять чи заміни застарілих.

Індустріалізація суспільства суттєво змінило життєву діяльність людини. Створення складних «людино-машинних» систем призвело до того, що людина стала найслабкішою ланкою в них. І тому в даний час набуває актуальності питання пристосування не стільки людини до машини, скільки машини до людини. Необхідність обробки великої кількості інформації, що надходить за малі проміжки часу, призвела до використання обчислювальних машин, так як людині ці завдання непосильні. Тобто, стійке якісне виконання операцій управління складними технічними засобами є за межами можливостей людини [4, 5].

Теорія, запропонована дослідником Л. Заде, розглядає самоорганізацію як апарат для аналізу та моделювання гуманістичних систем або в подальшому систем «людина – об'єкт керування – середовище» – систем, у яких істотну роль відіграють знання та судження людини [6, 7]. З розвитком теорії нечітких множин, вводиться поняття припустимої помилки, яке обґрунтовує відповідним чином право на помилку. Введення людини як природного компонента «гуманістичних» систем дозволило встановити не лише його значущість у структурі цих систем, а й звернуло увагу на те, що людина у цих системах є найслабшою ланкою та основною причиною виникнення критичних ситуацій, які у більшості випадків закінчуються катастрофами.

Через те, що абсолютна точність виконавчої діяльності знижує стійкість керованої системи, а зайва свобода дій (чи варіативність) тягне за собою зниження надійності досягнення кінцевого результату, тому слід шукати оптимальне співвідношення цих характеристик. До загальних принципів системної організації функціональних відносин відносяться такі:

- принцип самосполучення системи та умов її існування, він же трактується як «єдність об'єкта та середовища існування»;

- принцип дихотомічної структури відносин, чи «єдності та боротьби протилежностей», тобто єдності протилежностей та єдиного їхнього виміру;

- принцип інваріантності та ізоморфізму організації функціональних систем різних рівнів, або «минуле породжує сьогодні», в якому формується наступне, за послідовністю «причина – слідство – результат»;

- принцип мультипараметричної організації функціональних систем, який спрямований на досягнення однакового стійкого кінцевого результату чи «еквіфінальності організації кінцевого результату»;

- принцип статистичної закономірності прояви впливу, як відбиток цілісного процесу, чи «кінцевий результат впливу, як критерій подоби в мультипараметричних системних відносинах»;

- принцип найменшої дії та вузького місця, який може розглядатися як різновид «дихотомічної структури відносин» [4].

Проаналізувавши наукові праці з теорії систем і системного аналізу, психології, особливостей систем із самоорганізацією [8-13], встановлено існування загальних особливостей професійної діяльності та її принципів, які є складовими частинами практичної діяльності людини, що необхідно враховувати для удосконалення СКРП (табл. 1).

Табл. 1 – Загальні особливості та принципи професійної діяльності людини

<i>Загальні особливості професійної діяльності</i>	<i>Принципи професійної діяльності</i>
Унікальність і непередбачуваність людської діяльності в конкретних умовах	Ієрархічність - операційна - тактична - стратегічна
Здатність адаптуватися до умов середовища і перешкод (зовнішніх і внутрішніх), що змінюються	Інтегративність (цілісність, здатність самостійно орієнтуватись в ситуації)
Здатність до цілеутворення	Комунікативність (зв'язки з діяльністю інших людей)
Здатність протистояти руйнівним тенденціям (зовнішнім і внутрішнім);	Історичність (використання попереднього досвіду)
Здатність розробляти різні варіанти цілеутворення і цільового виконання	Адекватність (згідно формулювання Ешбі У.Р.) [15]
Здатність до самоорганізації і саморозвитку	

Принцип адекватності теорії систем, сформульований Ешбі У.Р. [15], говорить, що створюючи систему, здатну впоратися з розв'язанням проблеми, що має певну, тобто відому розмаїтість (складність), потрібно забезпечити, щоб система мала ще більшу різноманітність (наявність засобів і способів вирішення проблеми), ніж розмаїтість (складність) проблеми що розв'язується. Або ж була здатна створювати в собі цю необхідну різноманітність (могла б розробити нові засоби та способи вирішення проблеми). Тобто, система повинна мати необхідний запас для так званого «маневру».

При розробці сучасних систем СКРП в них треба передбачати наступні функції:

- пізнавальну (отримання та засвоєння накопичених знань);
- перетворювальну (перетворення навколишньої дійсності з урахуванням змін зовнішнього середовища);
- ціннісно-орієнтовну (встановлення відношень між об'єктом і суб'єктом);
- інтерактивну (забезпечення взаємодії між людиною і системою).

Поєднання технічних принципів процесу експлуатації і проведення ТО систем керування та принципів професійної діяльності людини примушує нас майже кардинально переробити методологію побудови і логіку функціонування сучасних СКРП. Як один із варіантів, розглянемо надання системі керування можливості контролювати (архівзації подій з подальшим проведенням їх аналізу) дії людини-оператора (оперативного персоналу) та персоналу з проведення ТО (технічного персоналу) (рис. 3).

На підставі цього аналізу СКРП отримує можливості формування відповідної адаптивної реакції та корегування власної процедури функціонування, тобто у наявності ознаки інтерактивної та інтелектуальної технології взаємодії. В такому випадку після інформування оперативного персоналу про невиконання технічним персоналом необхідних дій, система контролює факти сприйняття цього повідомлення та його подальші дії. Система переходить у режим очікування, попереджаючи про це оперативний персонал.

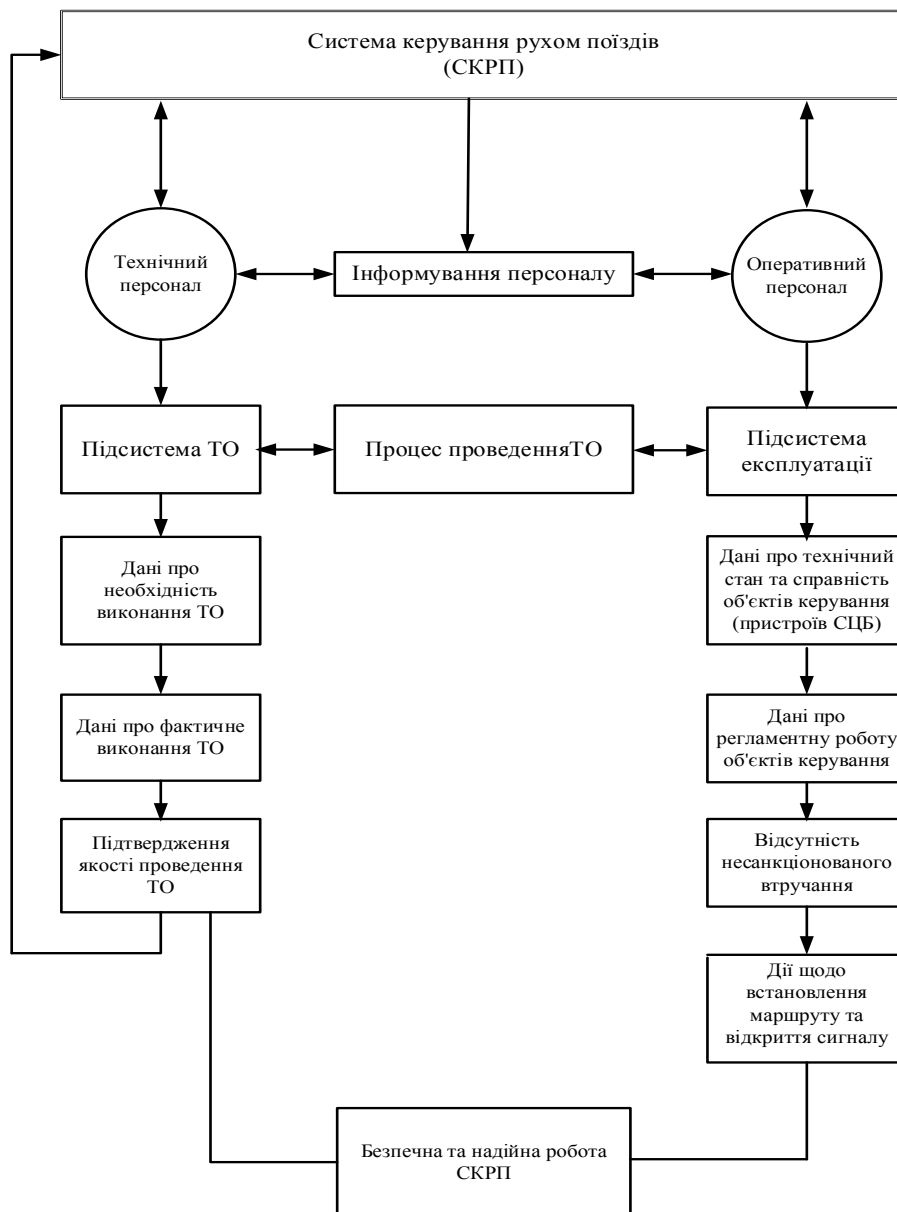


Рис. 3 – Блок-схема організації взаємодії СКРП і персоналу, з можливістю контролю його дій

Якщо подальші дії або бездіяльність людини-оператора будуть загрожувати безпеці функціонування СКРП, то виконання окремих функцій чи робота окремих компонентів системи може бути автоматично обмежена. Також СКРП повинна мати:

- можливість вирішення проблемних питань, де вже є накопичений позитивний досвід їх вирішення, або ж «підвищувати» кваліфікацію у процесі вирішення проблеми, тобто бути такою, що самонавчається;
- декілька варіантів вирішення проблемних питань;
- можливість легкої зміни, корегування та модернізації окремих її компонентів та легкого адаптування до умов, що змінюються.

Інтеграція в систему керування існуючих практик і знань про її експлуатацію та обслуговування (Operation and maintenance, O&M) та наявні нові цифрові технології дозволяють отримати структурну блок-схему СКРП з новими можливостями, в якій вбудовані функції оперативного моніторингу дій персоналу, моніторингу роботи системи та її технічного обслуговування (рис. 4).

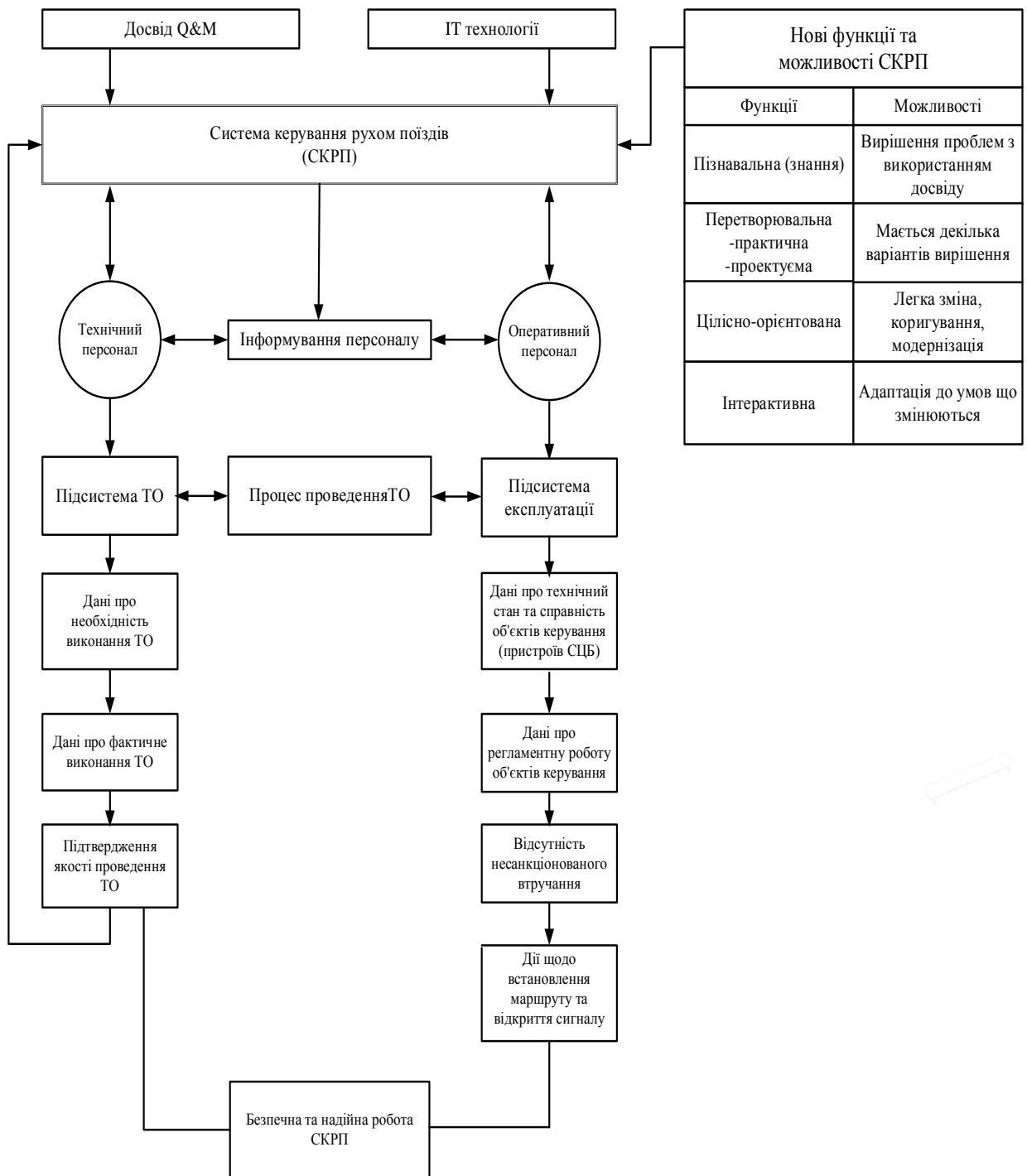


Рис. 4 – Удосконалена блок-схема СКРП з розширеними функціями

Промисловий Інтернет речей (IIoT), штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML), Digital Twins, Big Data предиктивна аналітика та обслуговування системи є основними інструментами щодо розширення функцій СКРП та надання можливості переходу до Технічного Обслуговування 4.0 (ТО4.0), яке має змінити сам підхід до експлуатації як технічних засобів залізничного транспорту, так і промисловості в цілому. Це дозволить максимізувати час безперебійної роботи систем керування за рахунок мінімізації їх незапланованого та реактивного обслуговування.

Створена перспективна структурно-логічна схема СКРП наведена на рисунку 5.

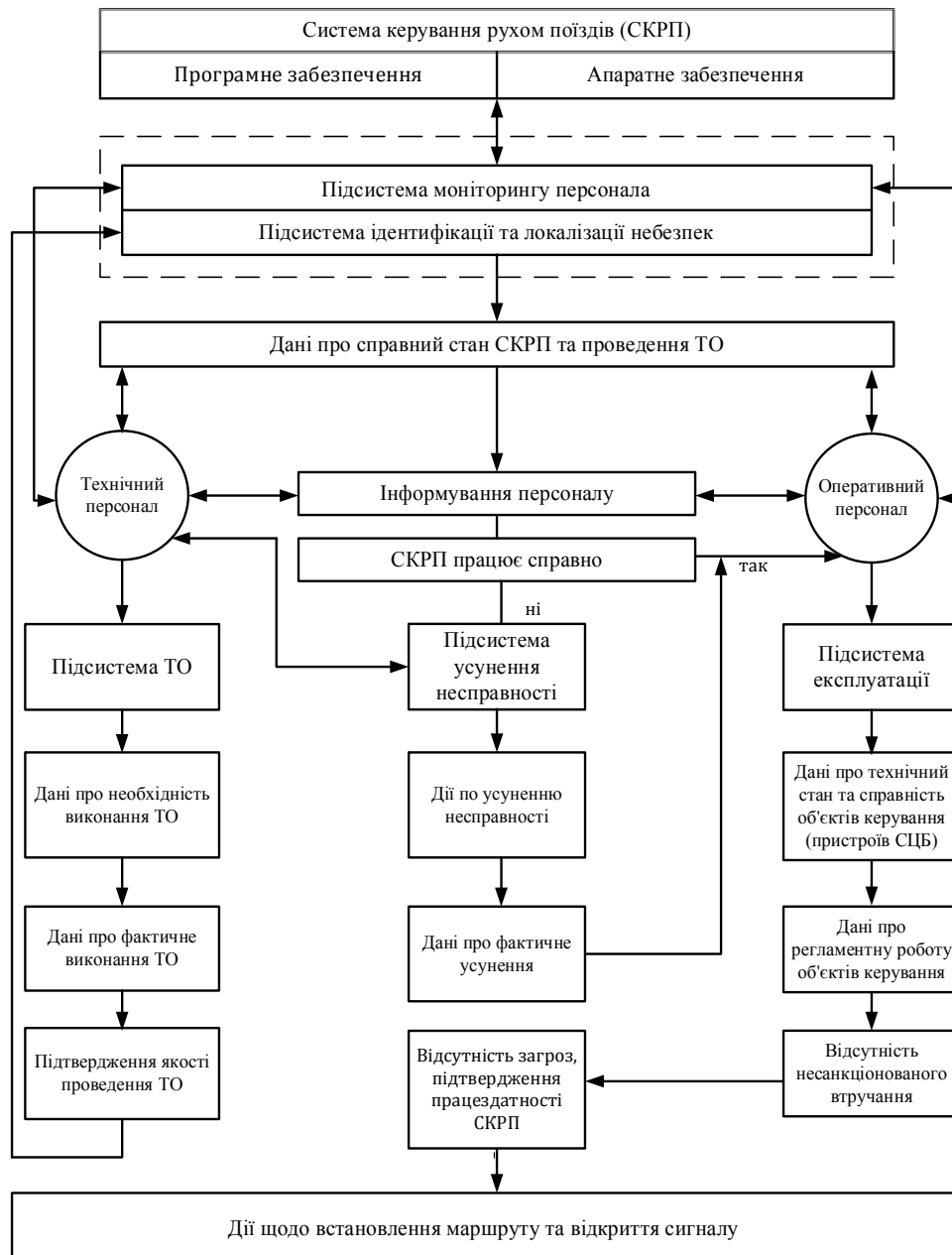


Рис. – 5 Структурно-логічна схема побудови перспективної СКРП

Даний підхід додатково передбачає реалізацію процедур автоматичного інформування технічного й експлуатаційного персоналу про параметри функціонування системи та автоматичного контролю сприйняття персоналом інформаційно-керуючих повідомлень і фіксації реакції на них за рахунок:

- 1) Контроля дій персоналу:
 - автоматичне ідентифікування особи;
 - визначення локації особи під час виконання робіт з технічного обслуговування;
 - визначення часу проведення робіт;
 - визначення характеру робіт.
- 2) Оцінювання адекватності:
 - реагування персоналу на поточні завдання;
 - фіксація затримок у процесі виконання планових робіт;
 - фіксація помилок.

Система СКРП в режимі он-лайн надсилає персоналу повідомлення про режими реалізації своїх функцій. Зокрема для експлуатаційного штату надається інформація про виникаючі нештатні ситуації, попередження, зміни у роботі і т.п.

Технічний персонал інформується про:

- параметри функціонування системи;
- необхідність проведення регламентних робіт з технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики (терміни виконання та технології їх проведення);
- виникаючі нештатні ситуації.

Надалі здійснюється контроль виконання робіт, а саме:

- ідентифікується особа, що виконує роботу;
- час початку та закінчення робіт;
- фактичне знаходження персоналу саме у місці, де необхідно виконувати роботу;
- характер роботи, успішність виконання та дотримання вимог безпеки у процесі виконання.

Також в процесі виконання роботи оцінюється адекватність реакції персоналу за часом (запізнення або відтермінування), локацією, характером роботи та результатом.

Для забезпечення цих властивостей передбачається реалізація наступних процедур:

- реалізація функцій керування та контролю;
- інформування персоналу про параметри функціонування системи;
- перебої в проведенні ТО;
- нештатні події;
- сприйняття інформації персоналом;
- формування його реакції;
- контроль виконання робіт ТО;
- оцінка адекватності реакції персоналу;
- формування превентивних дій.

Підсистема моніторингу персоналу на основі запрограмованих критеріїв визначає адекватність поведінки, як експлуатаційного, так і технічного персоналу в поточній ситуації. Якщо є дії, які не відповідають ситуації (наприклад, спроби втрутитися в роботу виконавчих пристроїв при виконанні призначених їм функцій), підсистема видає попередження і в разі його ігнорування блокує відповідне небезпечне діяння за допомогою підсистеми ідентифікації та локалізації небезпеки.

Для реалізації схеми взаємодії персоналу та СКРП з використанням моніторингу їх діяльності запропоновано підхід, побудований на формально-множинному встановленні адекватності дій персоналу за визначеними критеріями, що заснований на ізоморфізмі множин станів і дій, визначення яких здійснюється з використанням апарату теорії груп і відносин.

Кожний компонент структурної блок-схеми (рис. 5) інтерпретується впорядкованим набором об'єктів, їх станами і властивостями. В рамках набору, класи еквівалентності формуються відповідно до структурно-функціональної ознаки. Для кожного класу відповідність встановлюється на рівні підсистем моніторингу персоналу та ідентифікації і локалізації небезпек, що доводиться з використанням теореми щодо перестановки елементів групи.

У той же час критерієм неадекватних дій будь-якого персоналу (оперативного або технічного) є порушення встановленого ізоморфізму, що виявлено цією підсистемою.

Окремо встановлюється адекватність комплексної взаємодії всіх компонентів СКРП. Для цього порівняння по парам виконується, з подальшим комплексним аналізом з використанням графоаналітичного методу, на основі синтезованої граф-моделі (рис. 6).

Вершини графів визначаються відповідно до схеми наведеній на рисунку 5, таким чином:

- a_1 – підсистема технічного обслуговування;
- a_2 – підсистема експлуатації;
- a_3 – технічний персонал;
- a_4 – оперативний персонал;
- a_5 – підсистема моніторингу персоналу та ідентифікації і локалізації небезпеки;
- a_6 – апаратне забезпечення;

- a_7 – програмне забезпечення.

Отримана коректність визначається на основі порівняння фактичного упорядкованого набору посилань $Z = \{z_{ij}\}$ із еталонним, який закладений в підсистемі моніторингу персоналу та ідентифікації і локалізації небезпек.

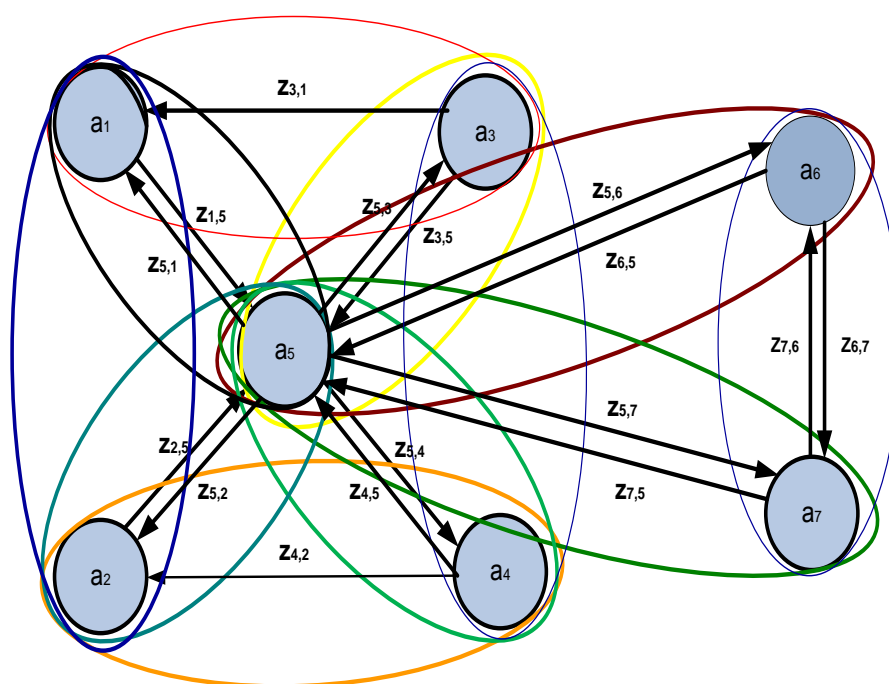


Рис. 6 – Графоаналітична модель комплексного визначення адекватності всіх компонентів взаємодії СКРП

Використання цієї моделі дозволяє надати СКРП ще більші можливості за рахунок оперативного моніторингу роботи системи, дій оперативного та технічного персоналу при проведенні її технічного обслуговування.

Висновки та пропозиції

Удосконалення методології побудови СКРП із застосуванням інструментів «Індустрія 4.0» та «Індустрія 5.0» дозволяє надати їм нових функцій. З'являється можливість здійснювати контроль роботи не тільки людини-оператора, а ще й технічного персоналу та подальшого аналізу їх дій. Організація інтерактивного режиму взаємодії системи керування з персоналом дозволить зменшити вплив «людського фактору» та в подальшому перейти до широкого впровадження інструментів «Індустрії 5.0». Світова перспектива створення «Суспільства 5.0» вже не буде вимагати виходу фахівців до об'єктів експлуатації, завдяки надання можливостей автоматичного інформування технічного і експлуатаційного персоналу про параметри функціонування системи та автоматичного контролю сприйняття персоналом інформаційно-керуючих повідомлень і фіксації реакції на них.

Підняте питання потребує подальших досліджень щодо надання системам можливості самонавчання, попередньо узгодивши його з забезпеченням належного рівня функційної безпеки, в частині унеможливлення реалізації небезпечних алгоритмів самонавчання.

Література

1. Lomotko D. Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation / D. Lomotko, A. Kovalov, O. Kovalova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 6, iss. 3 (78). – P. 11-17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54496>
2. Мойсеєнко В.І. Розвиток залізничних цифрових систем та технологій у контексті інженерії 4.0 / В.І. Мойсеєнко, О.М. Огар, В.В. Гаєвський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2019. – № 3. – С. 11-20. DOI: 10.18664/ikszt.v0i3.170647

3. Спецификация и доказательство надежности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS) для использования на железных дорогах : EN 50126-1:2017 CENELEC. – CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels, 2017. – 106 с.
4. Друзь В. А. Единая теория самоорганизующихся систем: монография / В.А. Друзь, В.Н. Самсонкин. – Київ : Талком, 2022. – 123 с.
5. Самсонкин В. К вопросу эффективного управления работой дистанций сигнализации и связи / В. Самсонкин, А. Бойник, А. Прогонный // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2018. – № 16. – С. 95-105. <https://doi.org/10.15802/ecstr2018/172671>
6. Заде Л.А. Основы нового подхода до аналізу складних систем та процесів прийняття рішення / Л.А. Заде // Математика сьогодні. – М.: Знання, 1974. – С. 5-49.
7. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.
8. Самсонкін В.М. Моделювання в системах, що самоорганізуються / В.М. Самсонкін, В.О. Друзь, Є.С. Федорович. – Донецьк: Видавець Заславський А., 2010. – 104 с.
9. Бир Ст. Кибернетика и управление производством / Бир Ст.; пер. с англ. В.Я. Алтаева. – М.: Наука, 1963. – 276 с.
10. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / Месарович М., Такахара Я.; под ред. С. В. Емельянова. – М.: Мир, 1978. – 312 с.
11. Месарович М. Загальна теорія функціональних систем / М. Месарович, Я. Такахара. – М.: Медицина, 1984. – 224 с.
12. Теорія систем і системний аналіз: навч. посіб. / О.Балтовський, К.Ісмайлов, О.Сіфоров, Г.Форос, О.Заєць; за заг. ред. Балтовського О. – Одеса: РВВ ОДУВС, 2021. – 156 с.
13. Системний аналіз інформаційних процесів: навч. посіб. / Варенко В.М., Братусь І.В., Дорошенко В.С., Смольников Ю.Б., Юрченко В.О. – К.: Університет «Україна», 2013. – 203с.
14. Прищак М. Психологія управління в організації: навч. посіб. / М. Д. Прищак, О. Й. Лесько [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 150 с.
15. Ashby Ross W. An introduction to cybernetics. – London: Chapman & Hall ltd, 1957. – 295 p. URL <http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/6344/2/IntroCyb.pdf> (дата звернення 14.10.2022).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Мойсеєнко Валентин Іванович,
д.т.н., професор, завідувач кафедри
«Спеціалізовані комп'ютерні системи»
Українського державного університету
залізничного транспорту.
Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.
E-mail: mvi53@ukr.net.
ORCID ID: 0000-0003-1377-8703.

Ломотько Деніс Вікторович,
д.т.н., професор, завідувач кафедри
«Транспортні системи та логістика»
Українського державного університету
залізничного транспорту.
Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.
E-mail: den@kart.edu.ua.
ORCID ID: 0000-0002-7624-2925

Гаєвський Віталій Вікторович,
к.т.н., ТОВ «НВП «Залізничатоматика».
Просп. Науки, 36, м. Харків, 61166, Україна.
E-mail: gaevskiyv54@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0001-7294-5706.