

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ЧЕХУНОВ ДЕНИС МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 656.212.5:656.073.436

**ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
СОРТУВАЛЬНИМИ СТАНЦІЯМИ В УМОВАХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Бутько Тетяна Василівна,
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра управління експлуатаційною роботою, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Мацюк Вячеслав Іванович,
Державний університет інфраструктури і технологій, кафедра технологій транспорту та управління процесами перевезень, професор кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
Нестеренко Галина Іванівна,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра управління експлуатаційною роботою, доцент кафедри.

Захист відбудеться “___” _____ 2019 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “___” травня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Збільшення обсягів перевезень небезпечних вантажів залізницями України, яке можна спостерігати останніми роками – відповідає світовому тренду. Однак, в Україні воно відбувається на фоні інших подій – таких як закриття деяких сортувальних станцій та підвищення концентрації роботи на тих, що залишилися. До того ж в умовах збільшення часу простою вагонів сортувальних станцій перетворюються на термінали, на яких постійно перебуває велика кількість вагонів, значна частка з яких містить небезпечний вантаж.

Статус сортувальних станцій як системоутворюючих об'єктів залізничної інфраструктури та близькість до великих міст лише підтверджує першочергову важливість питання контролю техногенної безпеки та управління ризиками під час їх функціонування.

Ці питання закріплені в положеннях Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, у якій першочерговими завданнями проголошено: забезпечення належного рівня безпеки та впровадження вимог законодавства ЄС у сфері перевезення небезпечних вантажів; скорочення макроекономічних втрат суспільства від аварій на транспорті на 50 відсотків; автоматизація управління транспортними процесами та впровадження інтелектуальних транспортних систем.

Вони узгоджуються із міжнародними стандартами з промислового ризик-менеджменту, які стверджують, що створення ефективних систем управління ризиками є можливим лише у складі комплексних систем управління виробничими процесами підприємства. Таким чином, представлена дисертаційна робота є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки (постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. N 1390), Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони, (ратифікованої Законом № 1678-VII від 16.09.2014 р.), Директиви 2008/68/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 24.09.2008 р. “Про внутрішні перевезення небезпечних вантажів”, а також науково-дослідної роботи за темою “Правила перевезення швидкопсувних вантажів” (ДР №0118U000124).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності системи вантажних залізничних перевезень шляхом формалізації та автоматизації процесів планування роботи сортувальних станцій (СС) в умовах перевезень небезпечних вантажів (НВ) з урахуванням завдань ризик-менеджменту на основі системного підходу.

Реалізація цієї мети потребує постанови та вирішення наступних задач дослідження:

- провести аналіз техніко-експлуатаційних показників вантажних залізничних перевезень в Україні з урахуванням процесу транспортування небезпечних вантажів в країні та за кордоном;
- проаналізувати наукові дослідження щодо удосконалення процесу управління залізничними перевезеннями небезпечних вантажів;
- сформулювати підходи до побудови моделі оцінювання ризиків у ході реалізації технологічного процесу роботи СС в умовах оперування вагонами із НВ;
- визначити критерії оцінки небезпек та сформулювати модель управління ризиками при функціонуванні сортувальної станції в умовах обробки вагонопотоків із НВ;
- сформулювати комплексну модель оперативного управління роботою СС, яка формалізує технологію обробки вагонопотоків, в тому числі вагонів з НВ, включно з місцевою роботою з урахуванням завдань ризик-менеджменту;
- розробити процедуру оптимізації моделі та провести моделювання роботи СС з метою порівняння техніко-експлуатаційних показників оперативного плану роботи СС за традиційною та запропонованою технологіями;
- сформулювати моделі побудови плану формування поїздів (ПФП) та розподілу порожніх вагонів в умовах перевезень НВ з урахуванням завдань ризик-менеджменту на СС.
- сформулювати комплексну інтегровану автоматизовану підсистему управління вантажними залізничними перевезеннями з урахуванням завдань ризик-менеджменту;
- провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів.

Об'єкт дослідження – процес управління вантажними залізничними перевезеннями.

Предмет дослідження – технологія управління сортувальними станціями в умовах перевезення небезпечних вантажів.

Методи дослідження. При здійсненні аналізу основних кількісних та якісних показників роботи підсистеми вантажних перевезень були застосовані методи математичної статистики та теорії ймовірностей, при побудові математичної моделі оцінки ризиків, що пов'язані з перебуванням вагонів з НВ на СС, використовувались методи побудови систем нечіткого виводу та Баєсових мереж, для оптимізації моделей побудови оперативного плану роботи СС використовувались методи багатоцільової і комбінаторної оптимізації, метод комбінаторної оптимізації застосовувався також для оптимізації моделей побудови плану формування поїздів в умовах обробки вагонопотоків з НВ та розподілу порожніх вагонів в умовах перевезень НВ, для оптимізації перелічених моделей застосовувались методи математичного апарату генетичних алгоритмів, метод граничної корисності було використано для виділення єдиного рішення на множині Парето-оптимальних рішень для отримання та побудови оперативного плану роботи СС.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі на основі системного підходу вирішене наукове завдання формування автоматизованої технології управління роботою СС, яка дозволяє одночасно вирішувати технологічні задачі та задачі ризик-менеджменту в умовах перевезень НВ.

З цієї метою вперше:

- сформовано критерій оцінки небезпек при оперуванні вагонами з НВ на основі експозиції ризиків, який виступає інтегральним показником рівня небезпеки оперативного плану, та дозволяє в динаміці врахувати зміни оперативної ситуації на СС у просторі та часі;

- для вибору оптимального варіанту оперативного плану роботи СС на основі вищезазначеного критерію сформовано модель оцінювання ризиків в умовах обробки вагонів з НВ з використанням математичних апаратів Баєсових мереж та нечіткої логіки;

- формалізовано технологію управління оперативною роботою СС на основі математичної моделі багатоцільової оптимізації, яка дозволяє оптимізувати технологічні витрати з урахуванням вирішення задач ризик-менеджменту на всіх стадіях обробки вагонопотоків з НВ включно з місцевою роботою;

Удосконалено:

- математичні моделі побудови ПФП та розподілу порожніх вагонів з урахуванням завдань ризик-менеджменту на СС в умовах перевезень НВ;

- систему АСК ВП УЗ Є за рахунок включення до її складу комплексу задач, які представлені на всіх рівнях управління перевізного процесу, та спрямовані на оптимізацію роботи СС з урахуванням завдань ризик-менеджменту в умовах перевезень НВ, які представляють автоматизовану технологію управління.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дисертаційного дослідження, що представляють автоматизовану технологію управління, використовуються в оперативному плануванні роботи сортувальної станції і дозволяють підвищити ефективність її функціонування та рівень безпеки шляхом зниження експлуатаційних витрат за рахунок зменшення величини вагоно-годин простою вагонів та величини ризику, що пов'язаний з обробкою вагонопотоків із НВ.

Одержані в дисертації результати використовуються при управлінні вагонопотоками та процесом формування поїздів на сортувальних станціях регіональної філії “Південна залізниця” АТ “Укрзалізниця”, в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) при підготовці фахівців зі спеціальності «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)» з дисциплін «Управління експлуатаційною роботою» та «Сучасні інформаційні технології в управлінні залізничними підрозділами», в курсовому та дипломному проектуванні при підготовці фахівців за освітньою програмою «Транспортні технології», а також при проведенні занять зі слухачами центру спеціального навчання працівників суб'єктів перевезень небезпечних вантажів при УкрДУЗТ.

Практичне використання результатів роботи підтверджено актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає у такому: у [1] проведено аналіз наукових досліджень, проведено моделювання, здійснено порівняльний аналіз результатів моделювання та сформовано висновки щодо ефективності запропонованого методу розрахунку ПФП, у [3] запропоновано критерій експозиції ризику та на його основі сформовано математичну модель оцінки рівня ризику оперативного плану роботи

СС в умовах обробки вагонопотоків із НВ, у [4] сформовано математичну модель побудови оперативного плану роботи СС на основі критерію сумарних експлуатаційних витрат, задачу побудови оперативного плану роботи СС в умовах обробки вагонопотоків з НВ сформульовано як задачу багатоцільової оптимізації та сформовано відповідну математичну модель на основі цільових функцій експозиції ризику та експлуатаційних витрат, запропоновано технологію отримання єдиного кінцевого рішення як результат оптимізації даної моделі шляхом застосування генетичного алгоритму спеціального типу та виділення компромісного рішення із множини Парето-оптимальних рішень із застосуванням методу граничної корисності, у [5] здійснене моделювання та представлено його результати у вигляді плану-графіку роботи СС, проведено аналіз результатів моделювання та зроблені висновки щодо ефективності запропонованого методу оперативного планування роботи СС, у [6] сформовано математичну модель розподілу порожніх вагонів між станціями залізничного полігону та запропоновано застосування математичного апарату генетичних алгоритмів у якості механізму його оптимізації, у [7] запропоновано підходи щодо безпечного оперування вагонами з НВ на СС, у [8] запропоновано підхід до оцінювання ризиків в умовах обробки вагонів з НВ на СС, у [10] запропоновано застосування критерію експозиції ризику, як основи для побудови моделі управління ризиками при оперативному плануванні роботи СС в умовах перевезень НВ, у [11] запропоновано використання математичних апаратів Баєсових мереж і нечіткої логіки в моделях оцінки ризиків при оперуванні вагонами з НВ на СС, у [12] проведено аналіз показників роботи підсистеми вантажних залізничних перевезень АТ “Укрзалізниця”.

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

- 30-й міжнародній науково-практичній конференції УкрДУЗТ “Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті”, (м. Харків, 26–27 жовтня 2017 р.);
- 80-й міжнародній науково-технічній конференції УкрДУЗТ “Розвиток наукової та інноваційної діяльності”, (м. Харків, 24–28 квітня 2018 р.);
- 31-й міжнародній науково-практичній конференції УкрДУЗТ “Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті”, (м. Харків, 24–26 жовтня 2018 р.);
- Міжнародній науково-практичній конференції “Глобалізація наукового та навчального простору. Інновації транспорту”, (Італія, Риміні, 1–10 травня 2018 р.);
- Міжнародній науково-технічній конференції “Технології та інфраструктура транспорту”, (м. Харків, 14–16 травня 2018 р.);
- Міжнародній науково-практичній Internet-конференції “Моделювання та інформаційні технології в науці, техніці та освіті”, (м. Харків, 21–22 листопада 2018 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 12 наукових праць, з яких 6 статей (одна без співавторів), та 6 праць апробаційного характеру. Із шести статей п'ять опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН

України, та одна у закордонному виданні. Всі шість статей включені до міжнародних наукометричних баз, дві з яких індексуються у базі Scopus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг тексту дисертації 213 сторінок, з яких обсяг основного тексту складає 153 сторінки друкованого тексту, 45 ілюстрацій, 7 таблиць, список використаних джерел включає 145 найменувань і 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, відображені наукова новизна та практична цінність, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз основних кількісних та якісних показників роботи підсистеми вантажних перевезень та виявлені негативні тенденції щодо збільшення величини обігу вантажного вагону, зменшення величини середньодобового пробігу локомотива, обсягів середньодобового навантаження та річного вантажообігу. Разом з тим, на фоні цих негативних трендів було виявлене збільшення обсягів залізничних перевезень НВ в Україні та на основі аналізу перевезень НВ залізницями країн світу було встановлено, що така тенденція є загальносвітовою. У якості основних чинників збільшення обсягів перевезень НВ в Україні були відзначені наступні: відновлення економіки після падіння, що спричинило збільшення обсягів транспортування енергоресурсів та сировини для хімічної промисловості, збільшення обсягів імпорту та транзиту нафтопродуктів та ведення бойових дій. Також було встановлено, що в середньому за добу сортувальна станція обробляє декілька сотень вагонів із НВ, що відносяться до різних класів небезпеки. За допомогою аналізу інцидентів, що відбулися із вагонами з НВ на сортувальних станціях протягом останніх років було встановлено, що найбільш поширеним типом таких інцидентів є протікання рідких НВ, в першу чергу це є займисті рідини, а саме – нафтопродукти та їдучі рідини, такі як, наприклад, сірчана кислота. За результатами аналізу було виявлено, що інциденти відбуваються завдяки причетності робітників вагонної служби, вантажовласників, оперативних працівників, тобто значну роль відіграє «людський фактор». Значна кількість інцидентів також відбувається з іновагонами.

В роботі були проаналізовані праці вітчизняних та закордонних дослідників. Значний внесок у вирішення питань, що пов'язані з темою даного дослідження, зробили такі вчені та практики: В. І. Бобровський, Т. В. Бутько, П. С. Грунтов, В. К. Губенко, М. І. Данько, І. В. Жуковицький, М. Д. Кацман, Г. І. Кириченко, Д. М. Козаченко, В. М. Кулешов, О. В. Лаврухін, Д. В. Ломотько, В. І. Мацюк, В. І. Мироненко, С. І. Музикіна, Г. І. Нестеренко, Є. В. Нагорний, В. Я. Негрей, С. В. Панченко, В. М. Прохоров, А. В. Прохорченко, В. В. Скалозуб, І. Б. Сотніков, П. О. Яновський, E. Erkut, M. Verma, V. Verter та ін.

Аналіз наукових досліджень виявив відсутність єдиного підходу та універсальних моделей для оцінювання рівня небезпек в процесі функціонування складних залізничних систем, зокрема СС, в умовах перевезень НВ. Разом з тим

було відмічено, що при оцінюванні рівня небезпеки, яка пов'язана з елементарними подіями, застосовується поняття технічного ризику, що дозволяє одночасно враховувати імовірність виникнення небажаної події та величину її можливих наслідків. За результатами аналізу було визначено, що СС є елементами залізничної транспортної системи, які потребують першочергового вирішення задачі управління ризиками, адже вони щоденно обробляють значні обсяги вагонів із НВ різних класів небезпек. До того ж, в умовах погіршення показників використання рухомого складу, зокрема збільшення простоїв, СС постійно концентрують на своїй території значний парк вагонів, що містять НВ та є постійним джерелом небезпеки. Таким чином, одночасне перебування на СС великої кількості вагонів із НВ, враховуючи критичний рівень зносу рухомого складу, значно підвищує імовірність виникнення техногенної аварії. Значно вищою за інші об'єкти залізничної мережі для СС є й величина наслідків такої аварії, як з точки зору матеріальних збитків так і шкоди здоров'ю та можливої втрати життя персоналу станції та прилеглих населених пунктів. Окрім зазначених наслідків, аварія із НВ на території СС може призвести до зниження операційної діяльності всієї залізничної системи, а також становить загрозу для безпеки країни.

Таким чином, постає завдання формалізації процесу оперативного планування роботи СС, з метою мінімізації експлуатаційних витрат, зокрема за рахунок зменшення часу простою вагонів, а також мінімізації ризиків, що пов'язані з обробкою вагонів із НВ. Подальша автоматизація цього процесу надасть можливість підвищити ефективність управління роботою СС за рахунок зниження рівня технологічних помилок та підвищити рівень безпеки в цілому.

У другому розділі проведено аналіз підходів щодо оцінювання небезпек в процесі функціонування технічних систем. Відзначено раціональність підходу, що полягає у застосуванні поняття технічного ризику для здійснення кількісних оцінок небезпек. Разом з тим, було встановлено, що для оцінювання ризику при здійсненні оперативного планування роботи СС в умовах обробки вагонопотоків з НВ лише застосування даного підходу є недостатнім, адже він дозволяє оперувати ризиком лише як статичним параметром. Однак в процесі функціонування СС ситуація на станції постійно змінюється, тому для врахування цих змін при оцінці ризиків в процесі побудови оперативного плану роботи СС було запропоновано функцію поточного ризику та критерій експозиції ризику, який є інтегральним критерієм (рис. 1). Таким чином, експозиція ризику є інтегралом по часу зі змінною верхньою межею від узагальненої функції ризику, яка є сумою функцій поточного ризику кожного окремого вагона з НВ

$$\mathcal{E}(t) = \int_{t_0}^t R_{\Sigma}(t) dt, \quad (1)$$

де t_0 – час початку планового періоду; $R_{\Sigma}(t)$ – узагальнена функція ризику, що агрегує поточні ризики, які діють на станції на момент часу t .

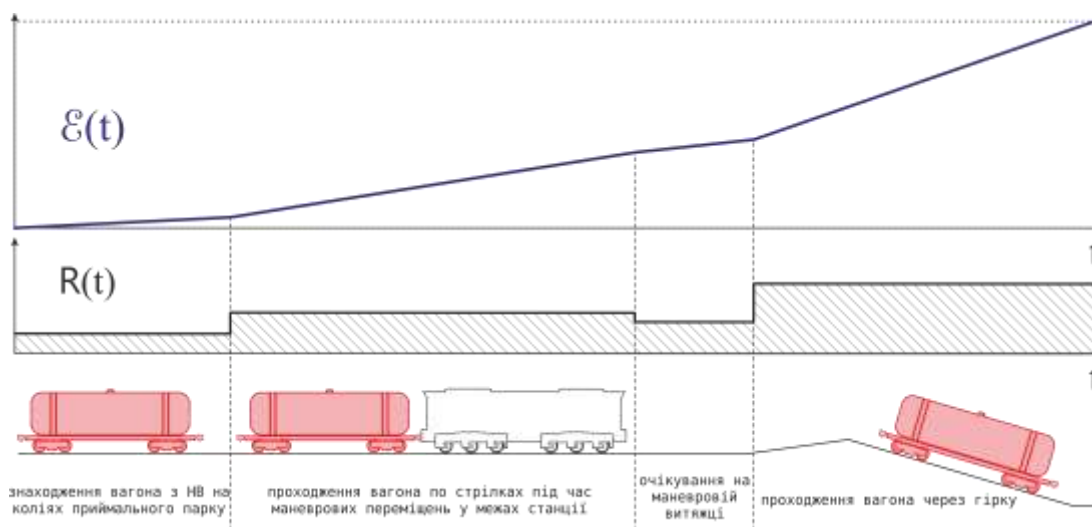


Рисунок 1 – Визначення функції поточного ризику $R(t)$ і функції експозиції ризику $\mathcal{E}(t)$ під час перебування та обробки вагонів з НВ на СС

Для визначення поточної імовірності настання небажаної події, яка є необхідною для розрахунку поточного ризику, було розроблено модель, що використовує математичні апарати Баєсових мереж та нечіткої логіки. Дана модель надає можливість визначення імовірності настання небажаної події з вагоном із НВ з достатньою точністю, одночасно враховуючи як статистичні дані так і оперативну інформацію про поточну ситуацію на станції, а також вплив всіх основних факторів небезпек, включно з тими, які можуть надходити від інших вагонів з НВ, що перебувають на станції.

На основі критерію експозиції ризику сформовано модель управління ризиками при оперативному плануванні роботи СС в умовах перевезень НВ. Цільову функцію моделі представлено наступним чином

$$\mathcal{E}(x) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^A \sum_{k=1}^D \left(\xi_{ij} H(t - t_{jx}^{\Pi}) \cdot \varsigma_{ik} H(t_{kx}^B - t) \cdot \gamma Q_i(t) \cdot L_i(t) \right) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де x – змінний вектор, що містить інформацію про послідовність виконання операцій оперативного плану; T – горизонт планування; W – потужність множини вагонів, що розглядаються на протязі планового періоду; A – потужність множини поїздів, що прибувають на станцію на протязі планового періоду; D – потужність множини поїздів, що відправляються зі станції протягом планового періоду; ξ_{ij} – функція, що приймає значення 1, якщо i -й вагон прибув на станцію у складі j -го поїзда, або значення 0 в іншому випадку; ς_{ik} – функція, що приймає значення 1, якщо i -й вагон відправився зі станції у складі k -го поїзда, або значення 0 в іншому випадку; t – поточне значення часу у хвилиналих; t_{jx}^{Π} – час прийняття на станцію j -го поїзда; t_{kx}^B – час відправлення зі станції k -го поїзда; $Q_i(t)$ – поточне значення функції імовірності виникнення аварії з i -им вагоном, яке може бути отримане за допомогою моделі на основі Баєсової мережі; $L_i(t)$ – поточне значення величини наслідків виникнення аварії з i -им вагоном; γ – коефіцієнт нормалізації ймовірностей; H – функція Гевісайда, яка визначена наступним чином

$$H(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 0 \\ 1, & z > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Цільова функція сумісно із системою обмежень, що регламентують порядок обробки вагонів із НВ, представляє оптимізаційну модель управління ризиками.

Сформована модель є основою для побудови системи управління ризиками в процесі реалізації змінно-добових завдань на станції. Однак формалізація задачі оперативного планування роботи СС в умовах обробки вагонопотоків з НВ на сучасному рівні є можливою лише за умови побудови моделі, яка надасть можливість для одночасного вирішення завдань мінімізації ризиків і мінімізації технологічних витрат при виконанні технічних, технологічних та правових умов.

У третьому розділі на основі аналізу наукової літератури було встановлено, що задача планування роботи СС, яка є задачею комбінаторної оптимізації, відноситься до класу NP-повних задач, а отже її вирішення може представляти значну обчислювальну складність. Однак сортувальні станції залізничної мережі України виконують не лише роботу з розформування-формування составів, але й містять підсистему місцевої роботи, що може обслуговувати значну кількість об'єктів. Таким чином, задачу планування роботи СС можна класифікувати як унікальний тип задачі теорії розкладу, яка також є безпрецедентною за складністю з точки зору формалізації технологічних процесів.

У результаті формалізації процесу оперативного планування роботи СС було отримано модель, цільову функцію якої представлено у вигляді критерію експлуатаційних витрат

$$C(x) = e_{e,z} \left(\sum_{i=1}^{N_{II}} (t^2 - t_{ix}^n) m_i^n + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{q_i^{npub}} (t^2 - t_{ij}^{npub}) m_{ij} - \sum_{i=1}^{N_B} (t^2 - t_{ix}^B) m_i^B \right) + e_{n,z} \left(\sum_{i=1}^{N_{III}} (t^2 - t_i^{III}) + \sum_{i=1}^{N_{II}} (t^2 - t_{ix}^n) - \sum_{i=1}^{N_B} (t^2 - t_{ix}^B) - \sum_{i=1}^{N_{BII}} (t^2 - t_i^{BII}) \right) + e_{n,z} \sum_{i=1}^{N_{II}} (t_{ix}^n - t_i^n) + e_{n,z} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{q_i^{nood}} (2a_i + b_i \cdot \min(m_{ij}, m_i^{\max}) + \tau_i^{oidv}) + e_{n,z} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{q_i^{npub}} (2a_i + b_i \cdot m_{ij} + \tau_i^{npub}) \rightarrow \min \quad (4)$$

де x – змінний вектор, що містить дані про порядок і параметри виконання операцій на СС; $e_{e,z}$ – вартість вагоно-години, N_{II} – потужність множини поїздів, що прибувають на станцію; t^2 – часовий горизонт планування; t_{ix}^n – момент часу приймання i -го поїзда до станції; m_i^n – кількість вагонів в i -му поїзді, що прибуває до станції; N_B – потужність множини поїздів, що відправляються зі станції, t_{ix}^B – момент часу відправлення i -го поїзда зі станції; m_i^B – кількість вагонів у i -му поїзді із множини поїздів, що відправляються; $e_{n,z}$ – вартість локомотиво-години; N_{III} – потужність множини локомотивів, що були спрямовані на сортувальну станцію в порядку виконання регульовальних заходів; t_i^{III} – момент часу прибуття на станцію i -го локомотива в порядку виконання регульовальних заходів; N_{BII} – потужність множини локомотивів, що були відправлені зі станції в порядку виконання регульовальних заходів; t_i^{BII} – момент часу відправлення зі станції i -го локомотива в порядку виконання регульовальних заходів; $e_{n,z}$ – вартість поїздо-години; t_i^n – час прибуття i -го поїзда до вхідного світлофора станції; k – потужність множини

під'їзних колій підприємств, що обслуговуються маневровими локомотивами станції; q_i^{nood} – кількість подавань груп вагонів на вантажний фронт i -го підприємства у межах горизонту планування; a_i – коефіцієнт формули Фролова, який відповідає базовій частині часу виконання напіврйесу подавання-прибирання вагонів на вантажний фронт i -го підприємства, яка залежить від довжини його під'їзної колії; b_i – константа формули Фролова, яка відповідає частині часу виконання напіврйесу подавання-прибирання вагонів на вантажний фронт i -го підприємства, що залежить від довжини його під'їзної колії і кількості вагонів у подаванні-прибиранні; m_{ijx} – загальна кількість вагонів, що накопичені на виділеній колії станції для подавання на вантажний фронт i -го підприємства на момент початку j -ої подачі; m_i^{\max} – максимально можлива кількість вагонів в подаванні на вантажний фронт i -го підприємства, що обмежена його місткістю; $\tau_i^{ei\delta\omega}$ – тривалість відчеплення групи вагонів при здійсненні подавання на вантажний фронт i -го підприємства; $q_i^{npu\delta}$ – кількість прибирань груп вагонів із вантажного фронту i -го підприємства у межах горизонту планування; m_{ij} – чисельність групи вагонів у j -му прибиранні із вантажного фронту i -го підприємства; $\tau_i^{npu\omega}$ – тривалість причеплення групи вагонів при здійсненні їх прибирання із вантажного фронту i -го підприємства; $t_{ij}^{npu\delta}$ – момент часу закінчення виконання операції j -го прибиранні групи вагонів із вантажного фронту i -го підприємства.

Було доведено, що найбільш раціональним підходом для вирішення задачі побудови оперативного плану роботи СС, який є оптимальним як за критерієм експлуатаційних витрат так і за критерієм експозиції ризику, є її формулювання у вигляді задачі багатоцільової оптимізації. Таким чином, модель багатоцільової оптимізації містить цільові функції експозиції ризику (2) та експлуатаційних витрат (4), а також спільну систему обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^A H \left(\sum_{i=1}^W H \left((t - t_{ix}^{\Pi}) \cdot (t_{ix}^P - t) \cdot \zeta_{ij} \cdot L_i \right) \right) \leq n^A, \quad \forall t \in [0, T] \\ \sum_{j=1}^D H \left(\sum_{i=1}^W H \left((t - t_{ix}^{\Phi}) \cdot (t_{ix}^B - t) \cdot \zeta_{ik} \cdot L_i \right) \right) \leq n^D, \quad \forall t \in [0, T] \\ t_{ix}^B \leq t_j^{ei\delta np. \omega p.}, \quad \forall j \in Z \\ H \left(\sum_{j=1}^{n_i} \omega_{ij}^{BM} \right) + H \left(\sum_{j=1}^{n_i} \omega_{ij}^{K1} + \sum_{j=1}^{n_i} \omega_{ij}^{CO} + \sum_{j=1}^{n_i} \omega_{ij}^{CF} \right) \leq 1, \quad \forall i, i \in N_B, \\ \sum_{i \in N^{\Pi}} H(t - t_{ix}^{\Pi}) - \sum_{i \in N^{\Pi}} H(t - t_{ix}^P) \leq n^{kn}, \quad \forall t \\ t_{wjx}^B - t_{wix}^{\Pi} \leq t_{\max}^{cn}, \quad \forall w \in P, \quad \forall j \in n_B, \quad \forall i \in n_{\Pi} \\ m_{ij}^{nood} \leq l_j^{B\Phi}, \quad \forall i, j, \quad i = 1..k_j^{nood}, \quad j = 1..n^{B\Phi} \\ m_{ij} + \sum_{k=1}^{q_j} m_k^{\tau_i} \leq \sum_{k=1}^{q_j} l_{kj}, \quad \forall i, j, \quad i = 1..N^{\Pi}, \quad j = 1..n^{H\Phi} \end{array} \right. \quad (5)$$

де n^A – кількість спеціальних колій або витяжок парку прийому; n^D – кількість спеціальних колій або витяжок парку відправлення; $\tau_j^{ei\delta np. \omega p.}$ – час відправлення за розкладом літерного поїзда; Z – множина номерів транзитних літерних поїздів; n_i –

кількість вагонів i -го поїзда, ω_{ij}^{BM} – ознака j -го вагона у складі i -го поїзда, яка приймає значення 1, якщо вантаж вагона становлять вибухові матеріали, або 0 у іншому випадку; ω_{ij}^{K1} – ознака j -го вагона у складі i -го поїзда, яка приймає значення 1, якщо у вагоні перевозяться небезпечні вантажі 1 класу, у іншому випадку приймає значення 0; ω_{ij}^{CO} – ознака j -го вагона у складі i -го поїзда, яка приймає значення 1, якщо у вагоні перевозяться небезпечні вантажі у вигляді сильнодіючих отруйних речовин, у іншому випадку приймає значення 0; ω_{ij}^{CT} – ознака j -го вагона у складі i -го поїзда, який приймає значення 1, якщо у вагоні перевозяться небезпечні вантажі у вигляді скраплених, стиснутих або розчинених під тиском газів та пристроїв, що їх містять, у іншому випадку приймає значення 0, t – довільний момент часу; t_{ix}^P – момент часу початку розформування i -го поїзда; t_{ix}^Φ – момент часу завершення формування і переміщення i -го поїзда до парку відправлення; n^{km} – кількість колій в парку приймання СС; t_{wix}^B – момент часу відправлення w -го вагону, що належить до множини вагонів зі спливаючим терміном доставки, у складі j -го поїзда зі станції; t_{wix}^H – момент часу прибуття w -го вагону, що належить до множини вагонів зі спливаючим терміном доставки, у складі i -го поїзда до сортувальної станції; t_{max}^{cn} – нормативний максимальний час перебування вагонів зі спливаючим терміном доставки на даній сортувальній станції; P – множина вагонів зі спливаючим терміном доставки, що прибувають до сортувальної станції; n_B – множина поїздів, що відправляються зі станції; n_{II} – множина поїздів, що прибувають до станції; m_{ij}^{nod} – кількість вагонів у i -й подачі до j -го вантажного фронту; $l_j^{B\Phi}$ – довжина j -го вантажного фронту у вагонах; k_j^{nod} – кількість подавань до j -го вантажного фронту протягом планового періоду; $n^{B\Phi}$ – кількість вантажних фронтів; m_{ij} – кількість вагонів j -го напрямку у i -му поїзді, що надійшов у розформування; q_j – кількість колій у сортувальному парку, які виділені для накопичення вагонів j -го напрямку; $m_k^{\tau_i}$ – кількість вагонів j -го напрямку, що знаходяться на виділених коліях сортувального парку на момент початку розформування i -го поїзда; l_{kj} – довжина k -ої колії, що виділена для накопичення вагонів j -го напрямку; $n^{H\Phi}$ – кількість напрямків, на які здійснюється формування составів.

Таким чином, модель містить цільову функцію у вигляді критерію експозиції ризику та цільову функцію технологічних витрат, яка включає витрати, що пов'язані із вагоно-годинами перебування вагонів на СС, простоем поїзних локомотивів, маневровою та місцевою роботою, а також систему обмежень, яка регламентує операції з поїздами, що містять вагони з НВ, та забезпечує планування роботи станції в межах її технічних можливостей.

Для оптимізації моделі було запропоновано використання генетичного алгоритму спеціального типу (NSGA-II), та розроблено схему кодування хромосоми. В результаті оптимізації було отримано множину Парето-оптимальних рішень. Для виділення єдиного компромісного рішення було запропоновано застосування

методу граничної корисності, перевагою якого є відсутність необхідності використання апріорної інформації. В основі даного методу лежить закон спадної граничної корисності, який стверджує, що функція сукупної корисності є опуклою і досягає свого максимуму за умови падіння граничної корисності до нуля. На основі сформованої багатоцільової моделі і запропонованої процедури її оптимізації розроблено програмне забезпечення, яке надає можливість представлення оптимального оперативного плану роботи СС у графічному вигляді (рис. 2).

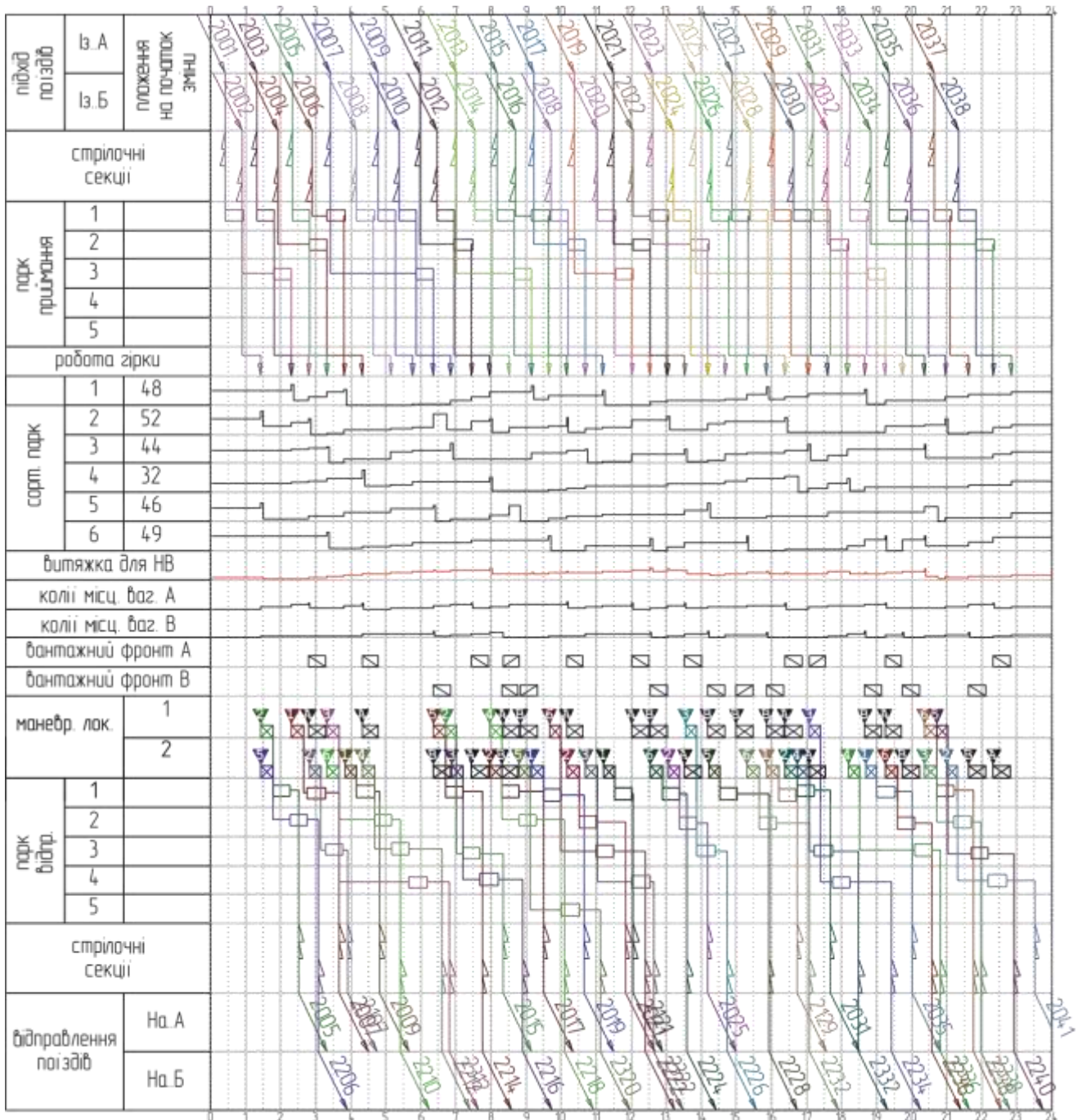


Рисунок 2 – Візуалізація плану роботи СС, отриманого в результаті оптимізації багатоцільової моделі

За результатами моделювання було виявлено, що застосування розробленої моделі при побудові оперативного плану роботи СС дозволяє зменшити величину

експозиції ризику на 8 % та сумарні загальні вагоно-години перебування вагонів на СС на величину 6,5 % у порівнянні із традиційною технологією планування.

Однак, досягнення цілей ризик-менеджменту при управлінні роботою СС в умовах перевезень НВ у повному обсязі є неможливим без урахування питань управління ризиками при вирішенні таких задач, як вибір маршрутів слідування вагонопотоків із НВ, розподіл обсягів роботи між СС, тощо.

Для досягнення системного ефекту оперативному рівню планування необхідно забезпечити підтримку також на тактичному та стратегічному рівнях в першу чергу при вирішенні задач, що стосуються питань функціонування залізничних полігонів та мережі в цілому.

У четвертому розділі у відповідності до основних вимог міжнародного стандарту ISO 31000 “Управління ризиками. Керівні принципи”, які наголошують про необхідність глибокої інтеграції системи ризик-менеджменту до системи управління технологічним процесом, було сформовано математичні моделі, які оптимізують роботу СС в умовах транспортування НВ на стратегічному і тактичному рівнях управління перевезеннями. На стратегічному рівні, завдяки запропонованій моделі розрахунку ПФП є можливим не лише побудувати раціональний план організації вагонопотоків на залізничній мережі, але й мінімізувати ризики, що пов’язані із перебуванням вагонів з НВ на СС.

Цільова функція моделі представляє критерій, виражений у гривнях, який враховує витрати, що пов’язані з вагоно-годинами накопичення та переробки составів; величину експозиції ризику, що пов’язана з вагоно-годинами знаходження вагонів з НВ на СС під час їх накопичення та обробки; витрати, що пов’язані з обробкою транзитних вагонопотоків та перебуванням вагонів у русі на дільницях між технічними станціями, в залежності від обраного маршруту

$$F(x, y) = \sum_{i \in K} \left[e_{\sigma, z} H \left(\sum_{v \in Z} x_{iv} \right) \left(c_i m_i + t_i^{обп} \sum_{u \in Z} \rho_u x_{iu} \right) + \sum_{v \in Z} x_{iv} \left((c_i m_i + t_i^{обп} \rho_v) \mu_v r_v \right) + \sum_{j \in Z} \left(x_{ij} \rho_j \left(e_{\sigma, z}^p + \frac{e_{\pi, z}}{m_i} \right) \left(\sum_{h=2}^{q_{iy_i}-1} t_{hi}^{тран} + \sum_{a \in b_{iy_i}} \frac{L_{ia}}{V_{ia}^{дл}} \right) \right) \right] \rightarrow \min, \quad (6)$$

де x – змінна матриця, кожен елемент якої x_{ij} приймає значення 1, якщо i -те призначення включає вагонопотік j -го струменя, в іншому випадку приймає значення 0; y – змінний вектор, елементи якого приймають значення, що відповідають номерам варіантів маршрутів, за якими можуть бути реалізовані призначення; K – множина всіх теоретично можливих призначень; m_i – норма кількості вагонів у складі поїзда на маршруті i -го призначенні; c_i – параметр накопичення i -го призначення на початковій станції; $t_i^{обп}$ – час обробки транзитного поїзда з переробкою на кінцевій станції i -го призначення без урахування часу накопичення; ρ_v – потужність (кількість вагонів) v -го струменя вагонопотоку; μ_v – середня частка вагонів з НВ у v -му струмені вагонопотоку; r_v – середня величина питомого ризику що припадає на вагоно-годину перебування на СС вагона v -го струменя вагонопотоку що перевозить НВ; Z – множина струменів вагонопотоків;

q – кількість технічних станцій на y_i -му варіанті маршруту i -го призначенні; b_{y_i} – множина дільниць між технічними станціями на y -му варіанті маршруту i -го призначення; t_{hi}^{mpan} – час обробки транзитного поїзда без переробки на h -ій станції i -го призначення; $V_{ir}^{\partial ia}$ – дільнична швидкість руху вантажних поїздів r -ої дільниці; $e_{\theta \cdot z}$ – вартість вагоно-години; $e_{\theta \cdot z}^p$ – вартість вагоно-години у русі; $e_{\lambda \cdot z}$ – вартість локомотиво-години; $H(x)$ – функція Гевісайда (3).

Модель також містить систему обмежень, яка забезпечує перевірку варіантів плану на можливість їх виконання за допомогою наявних технічних засобів, враховуючи переробну і пропускну спроможність станцій та пропускну спроможність дільниць:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in K} \sum_{j \in W} n_j x_{ij} \varphi_{is} / m_i \leq N_s^{nep}, \quad \forall s \in S \\ \sum_{i \in K} \sum_{j \in W} n_j x_{ij} \psi_{is} / m_i \leq N_s^{npon} - N_s^{nac}, \quad \forall s \in S, \\ \sum_{i \in K} \sum_{j \in W} n_j x_{ij} g_{id} / m_i \leq N_d^{npon} - N_d^{nac}, \quad \forall d \in D \end{array} \right. \quad (7)$$

де φ_{is} – змінна, що приймає значення 1 якщо s -та станція є станцією розформування i -го призначення, приймає значення 0 в іншому випадку; N_s^{nep} – переробна спроможність s -ої станції; S – множина технічних станцій на полігоні; ψ_{is} – змінна, що приймає значення 1, якщо s -та станція входить до маршруту i -го призначення, приймає значення 0 в іншому випадку; N_s^{npon} – пропускна спроможність s -ої станції; N_s^{nac} – середня кількість пасажирських поїздів, що пропускає s -та станція за добу; g_{id} – змінна, що приймає значення 1 у випадку входження d -ої дільниці до маршруту i -го призначення, приймає значення 0 в іншому випадку; N_d^{npon} – пропускна спроможність d -ої дільниці; N_d^{nac} – кількість пасажирських поїздів, що пропускає d -та дільниця протягом доби; D – множина дільниць на полігоні.

Розроблена оптимізаційна модель процесу розрахунку ПФП дозволяє не лише побудувати раціональний план організації вагонопотоків на залізничній мережі, але й мінімізувати ризики, що пов'язані із перебуванням вагонів з НВ на СС. Це досягається за рахунок зменшення загальних вагоно-годин накопичення шляхом вибору раціонального об'єднання струменів вагонопотоків та зменшення загальних вагоно-годин переробки за рахунок вибору раціональних маршрутів просування вагонопотоків та зменшення кількості попутних переформувань для вагонопотоків, що містять вагони з НВ.

На засадах ризик-менеджменту сформовано модель розподілу порожніх вагонів, яка надає можливість для своєчасного виконання станціями завдань з навантаження шляхом побудови плану переміщення порожніх вагонів, що знаходяться на станціях полігону, до станцій навантаження, визначаючи при цьому

маршрути збірних поїздів. Однак, порожні вагони, що були розвантажені після перевезення НВ і не пройшли очистку, наприклад, з причини прямування для повторного навантаження даним видом вантажу, також можуть представляти небезпеку. Існує можливість вибуху цистерн, що пов'язана, наприклад, із утворенням вибухонебезпечних газів в наслідок розкладання залишків нафтопродуктів. Дана модель надає можливість зменшення ризику шляхом мінімізації часу перебування таких вагонів на СС. Цільова функція моделі враховує експлуатаційні витрати, що виникають при переміщенні порожніх вагонів і залежать від довжини і тривалості маршрутів збірних поїздів, витрати, що пов'язані з простоям порожніх вагонів на СС, а також ризик, що пов'язаний із перебуванням на станції порожніх вагонів після вивантаження НВ, та очікуванням переміщення до станцій для наступного навантаження.

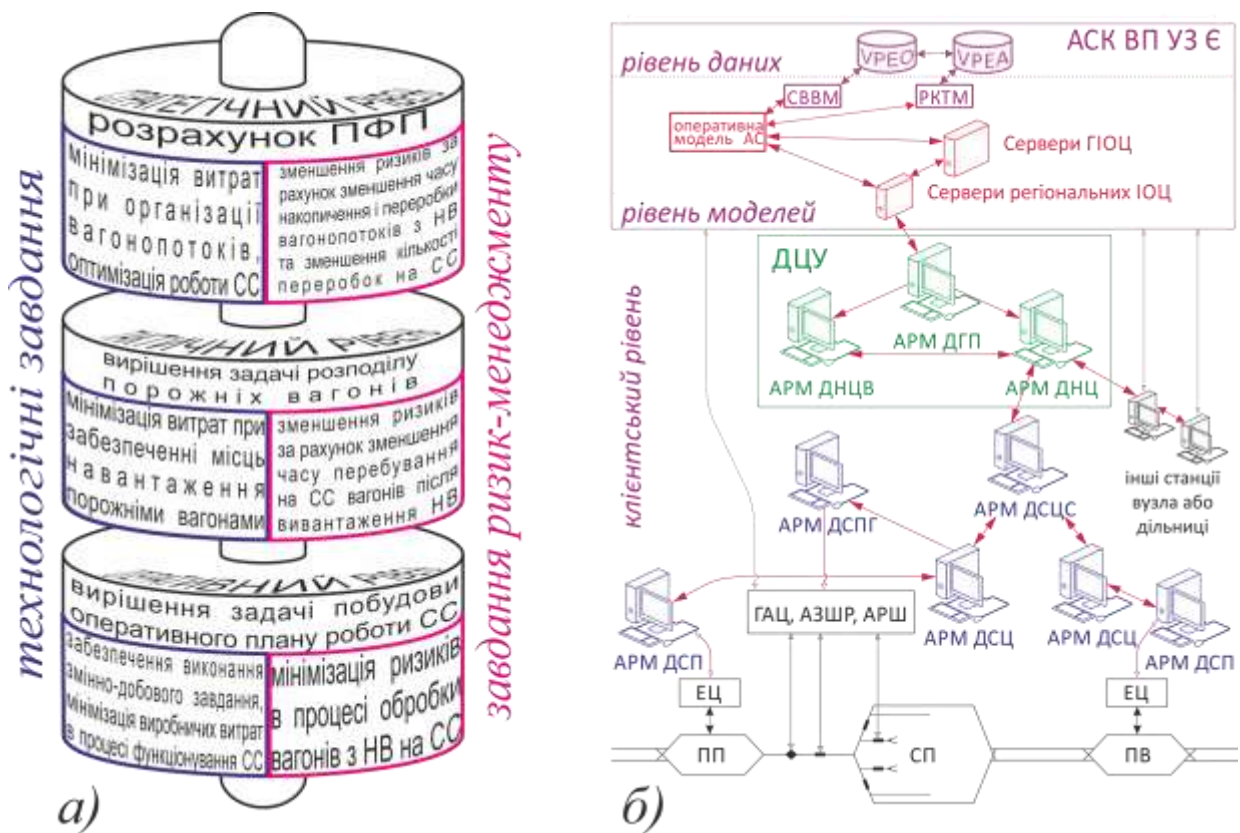


Рисунок 3 – Автоматизована підсистема управління роботою СС в умовах перевезень НВ: *а* – архітектура автоматизованої підсистеми; *б* – функціональна схема автоматизованої підсистеми у складі АСК ВП УЗ Є

Розроблений комплекс моделей і методів їх оптимізації становить основу автоматизованої технології управління СС, яка дозволяє вирішувати технологічні завдання та завдання ризик-менеджменту на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях управління процесом перевезень (рис. 3а). Дану технологію у вигляді автоматизованої підсистеми запропоновано включити до складу системи АСК ВП УЗ Є, розширивши коло її задач (рис. 3б).

В роботі досліджено економічну ефективність запропонованих рішень. Впровадження запропонованої технології надає можливість зменшити загальні

вагоно-години перебування вагонів на СС на 6,5 %, що в свою чергу дозволить зменшити величину обігу вагона на 3,25 %; зменшення ризику в процесі функціонування СС на 8 % дозволить зменшити величину можливих наслідків аварій при здійсненні залізничних перевезень НВ на 2,4 %. За 10 років використання даної технології очікуваний економічний ефект становитиме 181,6 млн. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання формування автоматизованої технології управління сортувальними станціями в умовах перевезень небезпечних вантажів.

1. На основі аналізу основних техніко-експлуатаційних показників функціонування підсистеми вантажних перевезень ПАТ «Укрзалізниця» та його регіональних філій доведено існування негативної тенденції до їх погіршення. На основі аналізу статистичних даних були виявлені тенденції до збільшення обсягів перевезень НВ, а також до збільшення відносної частки вагонів із НВ у загальному вагонопотоці. Більш детальний аналіз виявив не лише наявність коливань обсягів вагонопотоків, але й значні обсяги переробки на СС вагонів, що перевозять широкий спектр найменувань вантажів, які відносяться до різних класів небезпеки. Враховуючи значну частку обігу вагона, яка припадає на перебування на СС, доведено, що удосконалення технології управління сортувальними станціями є раціональним і найменш витратним шляхом підвищення ефективності функціонування підсистеми вантажних залізничних перевезень. Враховуючи значні щоденні обсяги переробки вагонів із НВ на СС, зазначено необхідність обов'язкового вирішення даною технологією питань безпеки.

2. Аналіз наукових досліджень виявив, що найбільш раціональним підходом для формалізації небезпек, які завжди присутні в процесі перевезення НВ залізничним транспортом, є застосування поняття технічного ризику, яке дозволяє одночасно врахувати як імовірність виникнення небажаних подій так і їх наслідки.

3. На основі аналізу наукової літератури та особливостей процесу оперативного планування роботи СС була доведена неефективність застосування моделей оцінки ризику, які розглядають його як статичний параметр та спираються лише на статистичні дані в умовах існування інформаційних систем, що містять оперативні дані, та доцільність подальшої автоматизації процесу управління СС.

4. У якості основи для побудови даної моделі був запропонований критерій експозиції ризику, який є інтегральним параметром від функції поточного ризику. Застосування даного критерію дозволяє побудувати динамічну модель оцінки ризику, яка надає можливість враховувати не лише статистичні дані, але й оперативну інформацію. Критерій експозиції ризику дозволяє обчислювати сукупний ризик з урахуванням диференціювання ступенів небезпек, які відповідають різним стадіям обробки вагонів з НВ, та одночасного врахування тривалості дії цих небезпек. На основі даного критерію сформовано математичну модель оцінки ризиків при оперативному плануванні роботи СС в умовах обробки вагонопотоків з НВ. Дана модель з метою надання можливості врахування оперативної інформації про джерела

небезпеки та стан об'єктів використовує математичні апарати Баєсових мереж та нечіткої логіки.

5. З метою вирішення основної технологічної задачі СС – задачі побудови оперативного плану, сформовано модель, цільова функція якої представляє критерій експлуатаційних витрат, який враховує витрати, що пов'язані із вагоно-годинами перебування вагонів на СС, простоем поїзних локомотивів, виконанням маневрових операцій та місцевої роботи, простоем місцевих вагонів, простоем поїздів у парку відправлення та перед вхідним світлофором у разі відсутності вільних колій у приймальному парку станції.

На основі цільових функцій експозиції ризику і експлуатаційних витрат була розроблена комплексна математична модель, що також включає спільну систему обмежень, які дозволяють врахувати технологічні умови роботи станції, та забезпечити виконання вимог, що пов'язані безпосередньо з обробкою вагонопотоків із НВ. На основі даної моделі було сформульовано задачу побудови оперативного плану роботи СС у вигляді задачі багатоцільової оптимізації. Враховуючи обчислювальну складність задачі, яка зокрема є наслідком її комбінаторної природи та значної розмірності, розроблено процедуру оптимізації моделі на основі застосування генетичного алгоритму спеціального типу. Дана процедура також дозволяє автоматизувати процес виділення кінцевого компромісного рішення із множини Парето-оптимальних рішень із застосуванням методу граничної корисності, та процес візуалізації отриманого рішення у вигляді плану-графіку роботи станції. Розроблена модель та процедура її оптимізації були реалізовані у вигляді програмного забезпечення мовою Matlab, із використанням якого було здійснено моделювання роботи СС. Результати моделювання виявили, що сформована технологія в порівнянні із традиційною технологією планування дозволяє зменшити показник експозиції ризику на 8 % та величину сумарних загальних вагоно-годин перебування вагонів на СС, які складають основну частку технологічних витрат, на 6,5 %.

6. З метою оптимізації технологічних витрат, а також мінімізації ризику, що пов'язаний із перебуванням порожніх вагонів, які на території СС очікують переміщення до пунктів очистки або повторного навантаження і можуть бути джерелом небезпеки, сформовано математичну модель розподілу порожніх вагонів на залізничному полігоні. Для вирішення технологічних задач і задач ризик-менеджменту за допомогою оптимізації вагонопотоків сформовано математичну модель розрахунку ПФП, яка надає можливість мінімізації загальних вагоно-годин в процесі формування і переробки вагонопотоків, в тому числі і з НВ, та зменшення ризику, що пов'язаний з ними, зокрема і за рахунок зменшення кількості їх переробок на шляху слідування. Дані моделі призначені для вирішення задач на тактичному і стратегічному рівнях управління перевізним процесом відповідно.

7. На основі аналізу було доведено, що для реалізації концепції безпеки, яка відповідає європейським стандартам, необхідна побудова комплексної системи ризик-менеджменту, яка є тісно інтегрованою з ланками всіх рівнів системи управління технологічним процесом підприємства. З цією метою на основі розробленої автоматизованої технології оперативного планування роботи СС сформовано інтегровану автоматизовану систему управління сортувальними

станціями. Дана система призначена для комплексного вирішення на оперативному, тактичному і стратегічному рівнях технологічних задач та задач ризик-менеджменту, що пов'язані із оптимізацією процесів функціонування СС в умовах обробки вагонопотоків з НВ.

Розроблено схему автоматизованої системи управління роботою СС в умовах перевезення НВ, яка інтегрована до складу системи АСК ВП УЗ Є у якості функціональної підсистеми.

8. Впровадження розробленої автоматизованої системи надасть можливість для зменшення на 2,4 % величини наслідків аварій, що пов'язані із залізничними перевезеннями небезпечних вантажів, та зменшення витрат на утримання вагонів в наслідок скорочення потрібного робочого парку за рахунок зменшення на 3,25 % часу обігу вантажного вагона. Економічний ефект від використання запропонованої автоматизованої системи протягом 10 років становитиме 181,6 млн. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. Butko T., Prokhorov V., Chekhunov D. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №85(3Pt1). P. 55–61. (індексується у Scopus).

2. Чехунов Д.М. Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із використанням математичних апаратів нечіткої логіки та Байєсових мереж. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. №1. С. 35–41.

3. Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Формалізація технології переробки вагонопотоків із небезпечними вантажами на сортувальній станції на основі експозиції ризику. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. №2. С.18–22.

4. Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Технологія інтелектуального управління сортувальною станцією на основі багатоцільової оптимізації із використанням генетичних алгоритмів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. №4. С.45–55.

5. Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Інтелектуальне управління сортувальними станціями при перевезеннях небезпечних вантажів на основі багатоцільової оптимізації. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. №5(77). С.41–52.

Публікації у закордонних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз:

6. Prokhorov V., Kalashnikova T., Rybalchenko L., Riabushka Yu., Chekhunov D. Solution of the problem of empty car distribution between stations and planning of way-freight train route using genetic algorithms. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. №7 (4.3). P. 275–278. (індексується у базі Scopus).

Праці апробаційного характеру:

7. Бутько Т.В., Чехунов Д.М., Удосконалення планування роботи сортувальної станції в умовах ризиків. *Матеріали 30-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»* (26–27 жовтня 2017 р., Харків). ІКСТ №4 (додаток). 2017. С. 55–56.
8. Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Формування системи управління ризиками при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами на основі моделі оцінювання ризиків. *Матеріали 80-ї міжнародної науково-технічної конференції* (24–28 квітня 2018р., Харків). Збірник наукових праць УкрДУЗТ. №177 2018. С. 114.
9. Чехунов Д.М. Організація вантажопотоків із небезпечними вантажами на основі оптимізації плану формування поїздів. *Матеріали 31-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»* (24–26 жовтня 2018 р., Харків). ІКСТ №4 (додаток) 2018. С. 33.
10. Butko T., Prokhorov V., Chekhunov D. Forming of model of risk management at the switchyard station at operating railcar with dangerous goods on the basis of risk exposure. *Proceedings of International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport”* (1–10 May 2018, Rimini, Italy). P. 14–16.
11. Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М., Гуровий С.А. Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із застосуванням сучасних математичних апаратів. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції* (14–16 травня 2018 р., Харків) Частина 1. УкрДУЗТ. 2018. С. 165–166.
12. Пархоменко Л.О., Чехунов Д.М. Дослідження показників вантажних перевезень в контексті обробки вагонопотоків із небезпечними вантажами. *Матеріали міжнародної науково-практичної Internet-конференції «Моделювання та інформаційні технології в науці, техніці та освіті»* (21–22 листопада 2018 р.) Харків. 2018. С. 171–177.

АНОТАЦІЯ

Чехунов Д.М. Формування автоматизованої технології управління сортувальними станціями в умовах перевезень небезпечних вантажів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 - транспортні системи. - Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності функціонування роботи СС в умовах здійснення перевезень НВ з урахуванням завдань ризик-менеджменту шляхом автоматизації процесу управління.

З метою оцінки рівня небезпеки оперативного плану роботи СС запропоновано критерій експозиції ризику та на його основі створено модель, що дозволяє в процесі оперативного планування роботи СС оцінювати ризик в динаміці, враховуючи як статистичні так і поточні дані щодо стану об'єктів, часові та просторові зміни ситуації на станції. Сформовано математичну модель оцінки оперативного плану роботи СС на основі критерію експлуатаційних витрат. На основі цих моделей задача побудови оперативного плану роботи СС в умовах обробки вагонопотоків з НВ була сформульована у вигляді задачі багатоцільової оптимізації. Багатоцільова модель

враховує витрати, що пов'язані з простоем вагонів, маневровими операціями, виконанням місцевої роботи станції, а також величину експозиції ризику. З метою оптимізації моделі була запропонована процедура, що використовує генетичний алгоритм та метод граничної корисності, та представляє результат оптимізації у вигляді плана-графіка роботи СС. Сформовані моделі розрахунку ПФП і розподілу порожніх вагонів в умовах обробки вагонопотоків з НВ надають можливість на стратегічному і тактичному рівнях системи управління перевізним процесом комплексно вирішувати технологічні задачі з урахуванням завдань ризик-менеджменту, демонструючи застосування системного підходу. Розроблену автоматизовану технологію управління роботою СС запропоновано реалізувати у вигляді підсистеми системи АСК ВП УЗ Є.

Ключові слова: обробка вагонів із небезпечними вантажами, ризик-менеджмент, оперативний план роботи сортувальної станції, автоматизована технологія управління роботою сортувальної станції.

АННОТАЦІЯ

Чехунов Д. Н. Формирование автоматизированной технологии управления сортировочными станциями в условиях перевозок опасных грузов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности функционирования системы грузовых железнодорожных перевозок в условиях осуществления обработки вагонопотоков с опасными грузами (ОГ) на основе комплексной многоуровневой оптимизации управления работой сортировочными станциями (СС) путем формализации и автоматизации процессов планирования её работы с учетом задач риск-менеджмента.

В работе проведен анализ динамики основных показателей работы системы грузовых перевозок в Украине, перевозок ОГ на железных дорогах Украины и зарубежных стран. Проанализированы количественные и качественные параметры инцидентов при перевозке ОГ, в том числе и на СС. С целью проведения количественной оценки уровня опасности оперативного плана работы СС в условиях обработки вагонопотоков с ОГ предложено использование функции текущего риска и интегрального критерия экспозиции риска, которые позволяют оценивать риск в динамике, учитывая временные и пространственные аспекты пребывания вагонов на СС. На основании данного критерия создана модель, которая использует математические аппараты Байесовых сетей и нечеткой логики, и позволяет оценивать кумулятивное действие риска в процессе оперативного планирования работы СС, учитывая не только статистические, но и текущие данные. В результате формализации процесса работы сортировочной станции сформирована математическая модель оценки оперативного плана работы СС на основе критерия эксплуатационных затрат. Эта модель учитывает затраты, которые связаны с простоем вагонов в процессе накопления на путях сортировочного парка, а так же с простоем на путях станционных парков в ожидании выполнения операций, нитки графика и т.д. Кроме этого данная модель учитывает расходы, связанные с

маневровыми операциями, а также местной работой станции. Задача построения оперативного плана работы СС в условиях обработки вагонопотоков с ОГ была сформулирована в виде задачи многоцелевой оптимизации. Модель включает целевые функции на основе критериев эксплуатационных расходов и экспозиции риска, а также систему ограничений, которые обусловлены параметрами станционных устройств, технологией выполнения маневровых операций и местной работы, а также нормативными документами, регламентирующими процесс формирования поездов, в которые включаются вагоны с ОГ. Для оптимизации модели предложена процедура, использующая генетический алгоритм специального типа и метод предельной полезности, которая представляет результат оптимизации в виде оперативного плана-графика работы СС. На основании предложенных решений было разработано программное обеспечение в среде Matlab. Результаты моделирования подтвердили большую эффективность сформированной автоматизированной технологии в сравнении с традиционной технологией оперативного планирования работы СС. Также были формализованы процессы расчета плана формирования поездов и распределения порожних вагонов в условиях обработки вагонопотоков с ОГ. Сформированные модели позволяют, не только на оперативном, но и на тактическом и стратегическом уровнях системы управления перевозочным процессом комплексно подходить к решению технологических задач с учётом заданий риск-менеджмента, демонстрируя тем самым применение системного подхода. Автоматизированную технологию управления работой СС предложено реализовать в виде подсистемы АСК ВП УЗ Є.

Ключевые слова: обработка вагонов с опасными грузами, риск-менеджмент, оперативный план работы сортировочной станции, автоматизированная технология управления работой сортировочной станции.

ABSTRACT

D. Chekhunov. Formation of automated technology of management of switchyard stations in conditions of transportation of dangerous goods. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science in speciality 05.22.01 – transport systems. – Ukrainian State University of Railway Transport, MES of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the questions of increasing the efficiency of the switchyard stations (SS) operation in the conditions of transportation of dangerous goods (DG) taking into account the tasks of risk management by automating the control process.

In order to assess the level of hazard of the operational plan of the SS, the risk exposure criterion was proposed and on the basis of which a model was created that allows the SS in the process of operational planning of the work to assess the risk in the dynamics, taking into account both statistical and current data on the state of objects, time and spatial changes the situation on the SS. A mathematical model for assessing the operational plan of the SS based on the operating cost criterion has been formed. On the basis of these models, the task of calculating the operational plan of the SS in the conditions of processing the car traffic with DG was formulated as a multiobjective optimization problem. The multiobjective model takes into account the costs associated with idle wagons, shunting

operations, performance of the local work, as well as the magnitude of risk exposure. In order to optimize the model the procedure based on the application of the genetic algorithm and the marginal utility method was proposed. Based on the developed models and proposed methods for their optimization, software is developed that provides an opportunity to present the optimal operational plan of work of the SS in a graphical form. The formed models of calculation of the train formation plan and the distribution of empty wagons in the conditions of treatment of carloads with DG provide the opportunity at the strategic and tactical levels of the control system of the transport process to solve complex technological problems taking into account the tasks of risk management, demonstrating the application of the system approach. The developed automated control technology for work of the SS is proposed to be implemented as a subsystem of the Unified Automated Control System of Cargo Transportations of Ukrainian railways.

Keywords: processing of cars with dangerous goods, risk management, operational plan of work of the switchyard station, automated control technology of work of the switchyard station.

ЧЕХУНОВ ДЕНИС МИКОЛАЙОВИЧ

**ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
СОРТУВАЛЬНИМИ СТАНЦІЯМИ В УМОВАХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Прохоров В.М.

Підписано до друку ” 10 ” травня 2019 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1
Замовлення ____ . Тираж 150 прим.

Видавництво УкрДУЗТ. Свідоцтво ДК № 6100 від 21.03.2018 р.
Друкарня УкрДУЗТ: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.