

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**


**Навчально - науковий інститут транспорту і будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи**


освітній ступінь - магістр
спеціальність - 273 – «Залізничний транспорт»
спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

на тему: «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ШЛЯХОМ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ»


Виконав
Здобувач вищої освіти
групи ІБЗТ-19зм


(ініціали) Тарасенко Т.О.

Керівник:


проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Завідувач кафедри:


проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Рецензент:


(ініціали і прізвище) Соколов Д.У.

1. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗВИТКУ ТА СТАНУ ДОСЛІДЖЕННЯ В ОБЛАСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

1.1 Аналіз стану вантажних перевезень в Україні

Залізничний транспорт – один із основних видів транспорту, на який приходить значна частка вантажних перевезень територією України. Щорічно через територію нашої держави перевозиться понад 60 млн. т транзитних вантажів. Потенційні можливості нашої країни сягають в межах 220 млн. т транзитних вантажів і це є стратегічною перспективою для її розвитку. Згідно основним засадам Транспортної стратегії України до 2030 року планується збільшення контейнерних перевезень територією України на транспортних маршрутах «ЄС-Китай», «ЄС-Іран, Індія» і «ЄС-Туреччина» до 1 млн TEU у 2025 році і не менше 2 млн TEU у 2030 році. При цьому до 2025 року планується досягти частки вантажоперевезень в інтермодальних транспортних одиницях не менше 10%, а в 2030 році - не нижче 20% [32].

Отже питання розвитку інтермодальних контейнерних перевезень є актуальним на сьогоднішній день. Саме такий вид перевезень сприятиме збільшенню транзиту через територію України і обсягів вантажних перевезень в цілому. Статистика свідчить, що з кожним роком об'єми вантажних перевезень по кожному виду транспорту зменшуються. Однією з причин падіння обсягів перевезень пов'язане зі складною ситуацією на сході України починаючи з 2014 року, яка привела до економічної нестабільності в країні; зменшення масштабів зовнішньої торгівлі. Отже, це спричинило падіння промислового виробництва, скорочення об'ємів надання послуг в економіці та падіння об'ємів вантажних перевезень. Динаміка перевезень вантажів всіма видами транспорту територією України наведена на рисунку 1.1 [33].

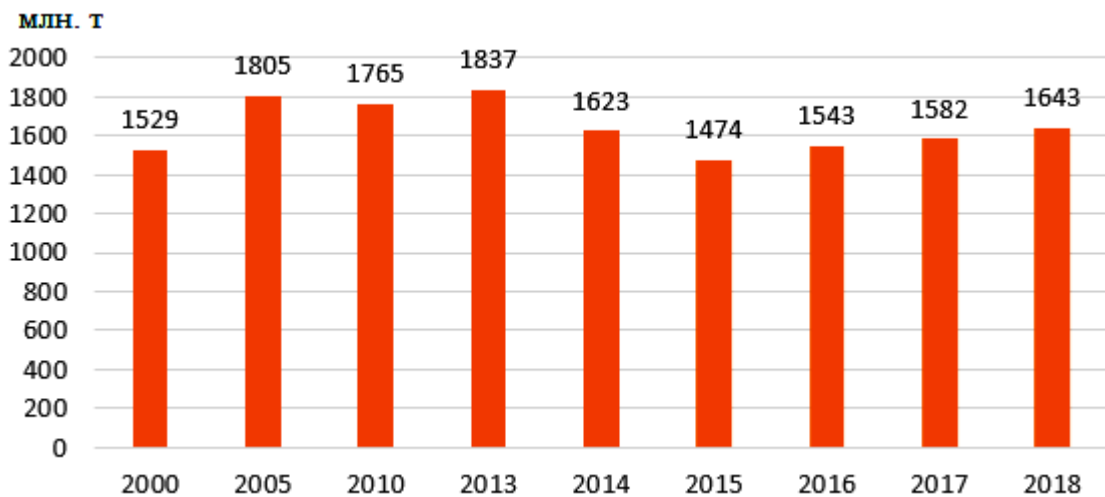


Рис.1.1. Динаміка розподілу перевезень вантажів всіма видами транспорту за 2000-2018 р

Виходячи з вищенаведених даних, видно, що максимальний обсяг вантажних перевезень був у 2013 році– 1837 млн. т, починаючи з 2014 по 2015 роки відбулось зменшення обсягу перевезень вантажів до 1474 млн. т, що на 19,76 % менше ніж у 2013 році. З 2016 по 2018 роки відбувається зростання але до обсягів 2013 року так і не досягло.

Аналізуючи обсяг вантажних перевезень окремо по кожному виду транспорту, спостерігається закономірність збільшення долі автомобільного транспорту не зважаючи на падіння загального обсягу вантажних перевезень.

Статистичні дані наведено на рисунку 1.2. Дані по обсягах вантажних перевезень автомобільним транспортом представлено з урахуванням перевезень вантажів власним автотранспортом згідно з Державною службою статистики України [33]. Найбільшу частку від всього об'єму вантажних перевезень займає автомобільний. В порівнянні з 2014, у 2018 році його доля збільшилася на 3,68%. Частка залізничного транспорту складає 19.62%, що на 4.18% менше ніж у 2014 році. Це свідчить про те, що частка залізничних перевезень, які втратила залізниця позначились на збільшенні обсягів автомобільним транспортом. Щоб залізничні перевезення були конкурентоспроможними необхідно створювати привабливі умови для

залучення клієнтів. Тому актуальним стає питання розвитку інтермодальних перевезень, які дозволяють поєднувати переваги декількох видів транспорту.

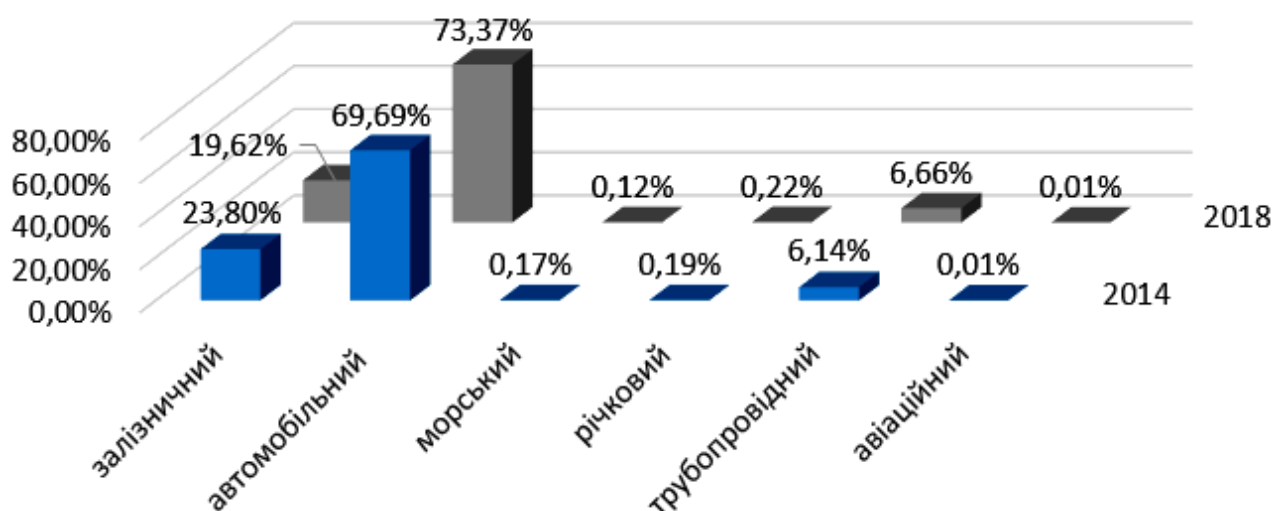


Рис.1.2. Діаграма розподілу часток обсягів вантажних перевезень за видами транспорту за 2014, 2018 р.р.

Були проаналізовані обсяги вантажних перевезень залізничним і автомобільним транспортом по областях України.

Порівнюючи обсяги перевезень вантажів цими видами транспорту, автомобільний все ж таки домінує над залізничним у внутрішніх перевезеннях в межах кожної області і є основним конкурентом залізниці при перевезенні вантажів. Наприклад максимальні показники перевезень залізничним транспортом у Дніпропетровській області за 2013 рік – 96774 тис. т, автомобільним транспортом – 376121 тис. т у 2013 році, що на 74,27% більше ніж залізничним. В умовах падіння економіки тенденція зменшення обсягів перевезень спостерігається на обох видах транспорту. В цих умовах доцільне одночасне використання декількох видів транспорту, а саме інтермодальних перевезень, які дозволяють об'єднати спільні зусилля обох видів транспорту для залучення нових клієнтів і збільшення обсягів вантажних перевезень.

Різновидом інтермодальних перевезень є контейнерні і контрейлерні перевезення. Контрейлерні перевезення – комбіновані залізнично-автомобільні

перевезення причепів, напівпричепів, трейлерів або знімних кузовів на залізничній платформі (бувають з супроводом та без супроводу) [2].

Контейнерні перевезення - це перевезення вантажів в контейнерах. Контейнер – це стандартний закритий вантажний модуль, який можна використовувати безліч разів (оборотна тара). Контейнери застосовують для перевезення вантажів в інтермодальних або мультимодальних (змішаних) перевезеннях.

Одна з головних переваг цих перевезень – стандартизація. Завдяки використанню єдиних розмірів модуля і розташуванню кріплень, контейнер легко перевантажувати з одного виду транспорту на інший. Найпоширеніші розміри контейнерів за стандартом ISO 668 - це 20 і 40 футів (6,1 і 12,2 м в довжину відповідно). У футах вказується обсяг контейнера згідно футового еквіваленту. Один 20-футовий контейнер – це загальноприйнята одиниця виміру TEU. Такі контейнери часто називають морськими.

1.2 Аналіз розвитку контейнерних перевезень в Україні і за кордоном

В Україні з кожним роком набувають популярності контейнерні перевезення. Це пов'язано з тим, що велика кількість товарів імпортується в Україну з Китаю, Америки, Європи в контейнерах різними видами транспорту, при цьому більша частина шляху доводиться на морський. Значний об'єм цих товарів продається через інтернет-магазини. На даний момент ритейл (роздрібна торгівля) є однією з великих складових національного доходу України і становить 13,9% в структурі ВВП, що в два рази перевищує ємність логістичного ринку. Кожному клієнту зручно коли товари переміщуються з заводу або складу до кінцевого пункту призначення. Виникає питання організувати доставку будь-яких товарів з будь-якої частини світу до кінцевого споживача за принципами логістики, а саме «точно в строк», «від дверей до дверей», а також з урахуванням принципу «останньої милі».

За загальнодоступною статистикою протягом восьми місяців 2018 року за маршрутом «Китай-Європа-Китай» прослідувало близько 2 000 контейнерних поїздів. Кількість контейнерів, перевезених за напрямом «Європа-Китай», за перші вісім місяців 2018 склала більше 450 тисяч TEU - майже в два рази більше, ніж за аналогічний період в 2017. Використання залізничного транспорту на маршруті «Китай-Євросоюз» - це зручна альтернатива швидкому, але дорогому авіатранспорту, з одного боку, а також набагато більш дешевому, але повільному морському транспорту - з іншого.

В Україні одним із найбільш успішних міжнародних проектів став поїзд, що прямує з Китаю до Словаччини через Україну. Починаючи з лютого 2018 року, ним перевезено понад 6 тис. контейнерів. Загальний час проїзду становив чотирнадцять днів, і поїзд складався з 44 40-футових контейнерів для різних клієнтів та з різними вантажами [34]. Контейнерними і вантажними поїздами у 2019 році було перевезено 384 тис. TEU залізницею, що на 14,64% більше, ніж в 2018 році. Доля контейнерних вантажів в обсязі залізничних перевезень досягла 1.77%. На даний момент по території України курсує 41 контейнерний поїзд, з яких 32 курсують на регулярній основі. Протягом 2019 року була організовано курсування 26 нових контейнерних поїздів [35].

Більш детальна статистика розподілу кількості контейнерів перевезених поїздами територією України за 2019 рік наведена на рисунку 1.3 Позитивну динаміку демонструють міжнародні поїзди «Вікінг», Білорусь-Румунія, Росія-Польща. _____ Поїздом «Вікінг» у 2019 році було перевезено 9107 TEU що на 34% більше ніж у 2017 році; поїздом Білорусь-Румунія було перевезено 8184 TEU, поїздом Росія-Польща перевезено 6358 TEU. У внутрішньому сполученні найбільш затребуваний напрям перевезень контейнерів Нікополь-Чорноморськ-Поромна – 25430 TEU. За обсягами перевезень також лідирують контейнерні поїзди Тернопіль-Чорноморська – 14638 TEU, Нижньодніпровськ-Пристань-Чорноморська-15537 TEU, збільшення відбулось приблизно на 25% в порівнянні з 2018 роком, Рожнятів–Одеса-Порт –13402 TEU.

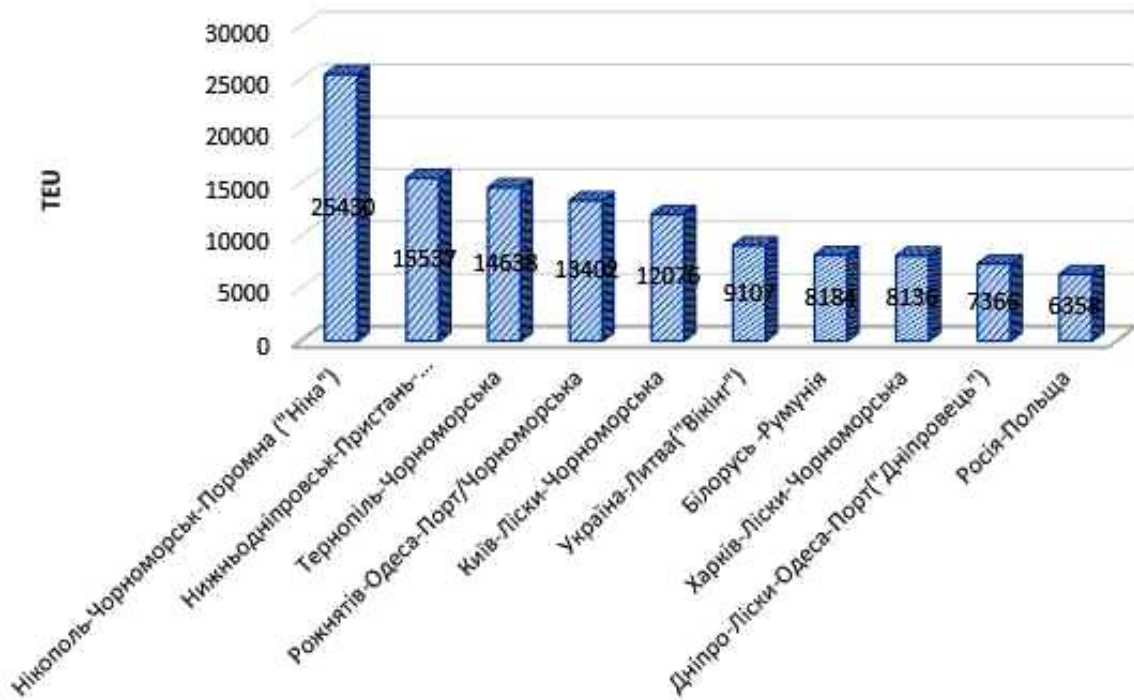


Рис.1.3. Діаграма розподілу кількості контейнерів перевезених поїздами територією України по напрямках за 2019 р.

Щодо обсягів перевезень за видами вантажів перевезених контейнерними поїздами за 2017 рік статистика наведена на рисунку 1.4.



Рис.1.4. Діаграма розподілу вантажів перевезених в контейнерах в мережі АТ Укрзалізниця за 2017 р.

Всього було використано 114996 контейнерів для великих замовлень у складі яких перевозились вантажі, наведені на рисунку 1.6. Велика частка прийшла на чорні метали 27%, зерно 18%, хімікати 10%. Дрібними замовленнями перевозились такі вантажі як продукти крохмальні, папір та картон, кокс, нафта та нафтопродукти, лісові вантажі і інші. Було використано 16234 контейнерів.

З 2016 року спостерігається позитивна динаміка перевалки контейнерів у портах. За 2018 рік в українських портах було перевалено 845.9 тис. TEU. У тонах вантажообіг контейнерних вантажів склав 10,9 млн. Цей показник став рекордним за останнє десятиліття.

Статистика свідчить, що найбільший обсяг контейнерних перевезень обробляється у портах України, так як завдяки своєму геополітичному положенню, Україна може виступати головною зв'язуючою ланкою між активно розвиваючим свої торговельні зв'язки Китаєм та країнами Західної Європи.

Цьому також сприяє наявність розвиненої транспортної інфраструктури; зв'язок головних морських портів України – Одесою, Чорноморськом та Южним з найбільшими портами Європи, завдяки судноплавним лініям прямого сервісу, які співпрацюють з портами України [33].

На українські порти формується вантажопотік не тільки з Росії й Казахстану, але й у рамках міжнародного транспортного коридору «Балтійське море – Чорне море» і ТРАСЕКА: з північних країн, Прибалтики, зростають обсяги вантажовідправлень в Туреччину, Ізраїль, країни Близького Сходу тощо. Одночасно з використанням для перевезень транспортного коридору Азія – Європа зарубіжні вантажовідправники більшу частину свого експорту направляють саме в українські морські порти [7].

Контрейлерні перевезення в Україні розвиваються повільніше ніж контейнерні, у зв'язку з необхідністю перевозити залізницею достатньо велику масу вантажного модуля, а також необхідністю створення та утримання парку

спеціалізованих залізничних платформ для можливості вписування вантажних модулів у габарити, що збільшує собівартість таких перевезень. Також недостатньо технічних засобів і технологій для організації контрейлерних перевезень в Україні [31].

В Україні перші проби контрейлерних перевезень зафіксовані на початку 90-х, коли на Львівській залізниці організовували пробні перевезення автопоїздів через карпатські перевали. Спочатку для цих цілей використовували звичайні залізничні платформи, потім з'явилися спеціальні платформи власного українського виробництва. Перший український контрейлерний поїзд «Вікінг» був відправлений в свій рейс в 1998 р. Курсував він між Іллічівськом (порт на Чорному морі, Одеська область) та литовським портовим містом Клайпеда. Проходив маршрут через Мінськ. Досвід, отриманий при організації «Вікінга», в значній мірі став у нагоді при організації наступного контрейлерного поїзда «Ярослав» за маршрутом Київ - Славкув - Київ [3].

На рисунку 1.5 наведена статистика обсягів інтермодальних перевезень за участю залізниць у процентному відношенні від загальних обсягів залізничних вантажних перевезень.

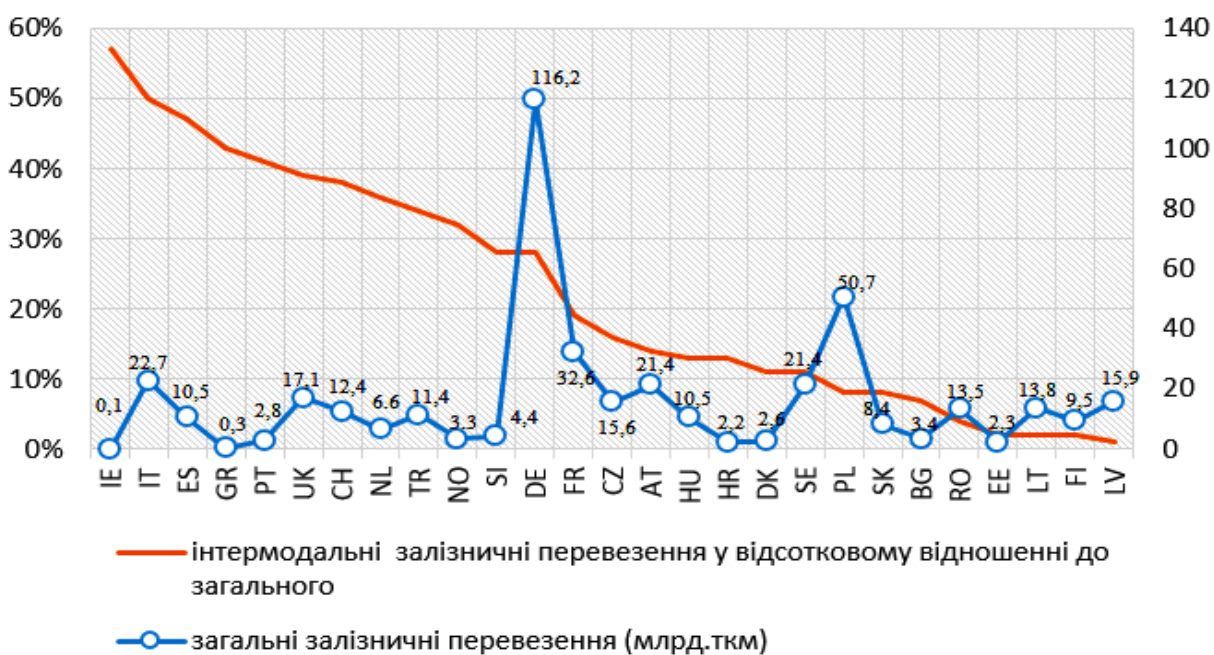


Рис.1.5. Розподіл обсягів інтермодальних перевезень за участю залізниць

у процентному відношенні від загальних обсягів залізничних вантажних перевезень по країнах ЄС, (млрд. ткм), 2016 р.

Статистичні дані сформовані за участю 24 країн показують розбіжність долі інтермодальних перевезень за участю залізниць, які коливаються від 1%, як у Латвії і досягають до 57% від загального обсягу як у Ірландії. Слід відмітити, що загальний обсяг залізничних перевезень у Ірландії 0,1 млрд ткм, а в Латвії 15,9 млрд ткм, що на 15.8 млрд ткм більше.

Більш детальний аналіз інтермодальних перевезень, який наведено на рисунку 1.6, за участю залізничного транспорту показав, що найвищі показники були зафіксовані у Греції (60,6%), Італії (60,5%), Ірландії (59%), Іспанії (51,9%), Португалії (45,5%), Данії (43,3%) і Німеччині (39,9%), а також в Норвегії (58,6%) і Швейцарії (57,2%), більшу частку яких займає перевезення контейнерів і знімних кузовів. Контрейлерні перевезення, з супроводом і без розповсюджені в деяких країнах, а саме в Германії (12,9%), Норвегії (22%), Швеції (11%), Швейцарії (15%). В інших країнах їх немає, або доля таких перевезень зовсім незначна [36].

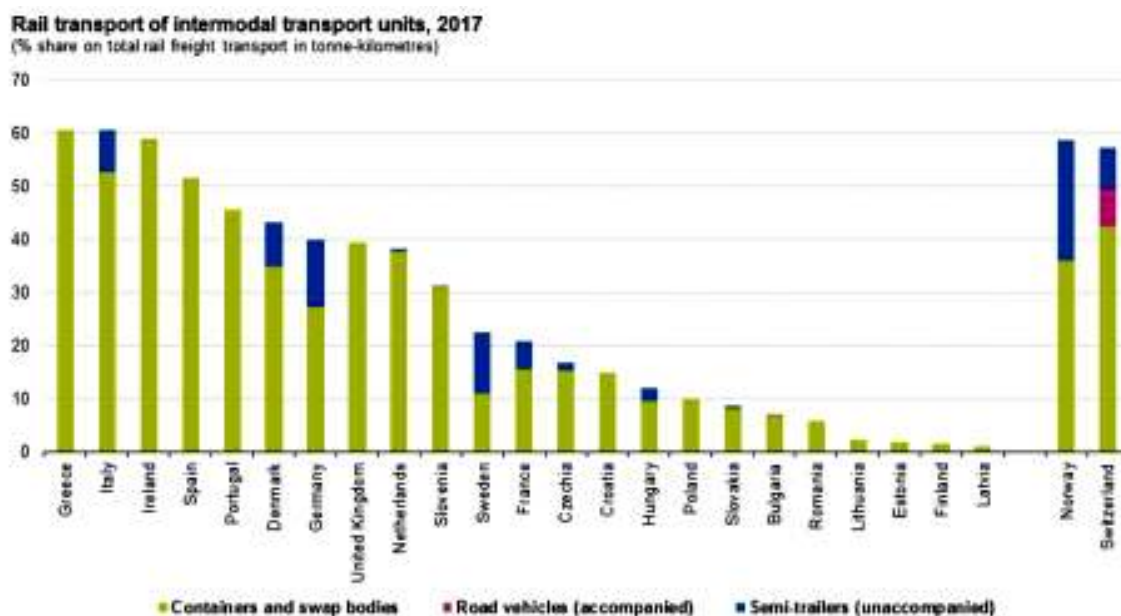


Рис.1.6. Розподіл обсягів перевезень контейнерів і знімних кузовів, трейлерів з супроводом та без, залізничним транспортом у складі інтермодальних перевезень по країнах ЄС

Щодо обороту контейнерів у Китаї особливо спостерігається стабільне збільшення кількості їх транспортування залізнично – морськими шляхами у зв'язку з розвитком проекту «Новий шовковий шлях». Використання залізничного транспорту на маршруті «Китай-Євросоюз» - це зручна альтернатива швидкому, але дорогому авіатранспорту, з одного боку, а також набагато більш дешевому, але повільному морському транспорту - з іншого. За загальнодоступною статистикою протягом восьми місяців 2018 року за маршрутом «Китай-Європа-Китай» прослідувало близько 2 000 контейнерних поїздів. Кількість контейнерів, перевезених за напрямом «Європа-Китай», за перші вісім місяців 2018 склала більше 450 тисяч TEU - майже в два рази більше, ніж за аналогічний період в 2017.

1.3 Аналіз стану наукових досліджень в області інтермодальних перевезень в Україні та за кордоном

Закордонний і вітчизняний досвід дає приклад розвитку наукових розробок в області інтермодальних перевезень. Питанням удосконалення технологій інтермодальних перевезень приділяла увагу значна кількість науковців та фахівців таких як: Н. М. Алексійчук, Є. С. Альошинский, Т. В. Бутько, М. І. Данько, Ю. М. Дьомін, А. Г. Кіріллова, А. М. Котенко, В. В. Кулешов, Д. В. Ломотько, В. І. Мацюк, В. К. Мироненко, Г. І. Музикіна, Є. В. Нагорний, С. М. Резер, П. С. Шилаєв, В. О. Шиш, Н. Ю. Шраменко, F. Russo, U. Sansone, Athanasios Ballis, John Golias, Irina Harris, Yingli Wang.

В роботі (39) Шапкіна О. С. обґрунтовані технологічні рішення по вибору техніко-технологічних параметрів організації контрейлерних перевезень; побудована економіко-математична модель вибору раціональних параметрів системи контрейлерних перевезень, розроблений графік руху контрейлерного поїзду між Новоросійськом і Москвою.

В роботі (40) Р. В. Зінько побудовано графову модель контрейлерних перевезень. Прораховано оптимальні умови їх ефективності для міжнародних

перевезень лісоматеріалів залежно від вхідних параметрів, таких як геометрія задачі та швидкість перевезення. Прокладений маршрут Львів-Медика-Вроцлав-Свєцко-Донген та розрахована собівартість рекомендованого маршруту. У доповіді (41) Гусейнова Р. Р. розглядається питання обґрунтування багатокритеріального підходу до оцінки станцій, які обслуговують контрейлерний термінал. Розроблений набір критеріїв, що характеризує техніко-технологічні параметри станції з контрейлерним терміналом. Монографія [42] Сича Є. М. присвячена питанням визначення основних етапів і особливостей техніко-економічного розвитку контейнерно-контрейлерних перевезень на залізницях України в сучасних умовах, дослідження транспортно-експедиторської діяльності залізничного транспорту.

В роботі Мацюка В. І. [43] представлена математична модель, яка дозволяє на основі невеликої кількості вихідних даних, більшість яких є з транспортної статистики, за допомогою відомих теоретичних методів розрахувати основні характеристики вантажопотоку в транспортній системі, яка розглядається як система масового обслуговування.

Російською вченою Кириловою А. Г. у роботі [44] зроблений аналіз сучасного стану та перспектив розвитку ринку контейнерних і контрейлерних перевезень у змішаних автомобільно-залізничних сполученнях; аналіз діючих систем і новітніх методів прискореної перевантаження контейнерів та контрейлерів в транспортних вузлах; розробка економіко-математичних моделей і методів оптимізації роботи контейнерних і контрейлерних транспортної системи; виявлення ефективних методів управління автотранспортним експедиторським підприємством і специфіка їх застосування у сфері контейнерних і контрейлерних перевезень. У роботі Бутько Т.В. [45] запропоноване створення логістичного центру «сухий порт» з метою мінімізації будівництва складів у виробників продукції і доставка вантажопотоків у вигляді повагонних або контейнерних відправлень за участю підприємств промислового залізничного транспорту (ППЗТ).

В дисертаційній роботі [46] Шилаєва П. С. розроблено та формалізовано ресурсозберігаючу технологію виконання вантажних операцій з напівпричепами, причепами, вантажними модулями на терміналах вантажних станцій, яка, на відмінність від існуючих, забезпечує навантаження залізничного рухомого складу колії 1435мм(країни Європи) або 1520мм (країни СНД і Балтії) горизонтальним способом, що дає можливість суттєво зменшити тривалість простою вантажних модулів та вагонів під вантажними операціями і зменшити їх оборот.

Кізіміров М. В. в своїй статі [47] зробив економічні розрахунки ефективності застосування зчленованих платформ на трьох візках і платформи 13-9032. При тій же корисній довжині складу із зчленованими двосекційними вагонами може перевезти на 12 трейлерів більше. За рік маса вантажу, перевезеного таким складом буде на 117,504 т, а вантажообіг на 257568768т-км більше, ніж поїздом. Який складається з односекційних спеціалізованих платформ при однаковій розрахунковій довжині поїзда.

Логвинюк К., Поплавський Т., Шпаков А. в роботі [48] провели аналіз динаміки змін інтермодальних перевезень в Європі. Визначили критерії для підвищення пріоритету інтермодальних перевезень в Центральній і Східній Європі. Навели процентну складову національного, міжнародного транспорту і транзиту в країнах Центральної і Східної Європи в порівнянні з країнами Західної Європи в 2010 році. Результати свідчать про те, що країни Західної Європи оптимально використовують добре розвинену внутрішню залізничну інфраструктуру. Країни Центральної та Східної Європи велику частину своїх доходів отримують від міжнародних (транзитних) інтермодальних перевезень. В роботі Є. К. Вільковського, С. М. Бурніцького, О. Й. Дзелендзяка [49] розроблено та проаналізовано задачу розрахунку тривалості перетину кордону для контрейлерних перевезень. Показано, що існує граничне співвідношення швидкостей руху залізницею та автострадою, для якого бімодальний тип перевезень є вигіднішим, ніж унімодальний (тільки автопоїздом) задовільного розташування станцій завантаження-розвантаження автопоїзда на залізничну

платформу. Кузнецов М. М. в своїй роботі [50] зазначив, що позитивних чинників від реалізації програми розвитку комбінованих перевезень в Україні можна досягти лише шляхом поетапного удосконалення системи державного регулювання у цій сфері, введенні відповідно до міжнародної практики заходів державного стимулювання їх розвитку та розробленні системи координації вантажопотоків у міжнародних перевезеннях між різними видами транспорту за допомогою єдиного центру. В дисертаційному дослідженні Снігур О. В. [51] визначена величина відверненого економічного збитку повітряному середовищі при впровадженні контрейлерних перевезень; обрані основні показники (параметри), що характеризують контрейлерні перевезення і роблять істотний вплив на величину оптимального складу поїзда. В статті Шраменко Н. Ю. Рокало Л. В. [52] запропоновано математичну формалізацію процесу перевалки вантажів на припортовому терміналі при доставці в змішаному сполученні, де враховано технологічні особливості перевалки та обмеження.

В дисертаційному дослідженні Алексійчук Н. М. [53] обґрунтовані технологічні та організаційні заходи щодо удосконалення технологічного забезпечення контейнеропотоків; розроблені математичні моделі процесів технологічного забезпечення контейнерних перевезень з використанням резервів провізних спроможностей залізничного транспорту. Музикіна Г. І. у своїй дисертації [54] визначає параметри транспортного коридору за принципом спеціалізованих контрейлерних поїздів; пропонує поетапне введення режиму комбінованих перевезень у транспортних коридорах України відповідно до їхніх параметрів. Миронюк І. В. [55] відмітив, що розвиток інтермодальних перевезень в Україні є предметом значної кількості досліджень. Основною метою цих робіт є аналіз проблеми техніко-експлуатаційного стану транспортних засобів українських залізниць. Ізоніна М. О. в своїй роботі [56] детально описує причини, що стримують розвиток в Україні контрейлерних перевезень, а також порядок розрахунку оптимальної структури складу комбінованих контрейлерно-контейнерних поїздів.

Альошинський Є. С. в своїй роботі [57] пропонує удосконалити систему міжнародних транспортних перевезень України, за рахунок розробки моделі блоку виконання митних операцій на ПВС та з виявленням основних причин затримок контейнерів і транспортних засобів в морському порту та на станції. Яновський П. О. [41] зазначає що, для забезпечення своєчасного, повного та якісного задоволення населення і економіки в перевезеннях з адаптацією залізничного транспорту України до умов функціонування Транс-Європейської залізничної мережі з поступовою інтеграцією з нею у державній політиці в першу чергу зусилля залізниць слід зосередити на вирішенні наступного: забезпечити подальший розвиток комбінованих перевезень; забезпечити постійне зростання обсягів транзитних перевезень вантажів шляхом зменшення часу знаходження їх в дорозі, простоїв у пунктах перетину кордонів, уніфікацій документів на перевезення та спрощення процедури перетину державного кордону, а також залучення вантажопотоків у сполученні Європа-Азія. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. в своїй роботі [5] пропонують вирішити питання різної ширини колії в Україні і Європі двома шляхами. Перший – побудова залізниць з Європейською шириною колії, на що потрібні значні кошти. Другий – розвиток комбінованих перевезень, що найбільш доцільний в даних умовах існування залізниць України. Це дозволить збільшити обсяги перевезень вантажів та зменшити вартість перевезень.

Переста Г. І., Кузьменко А. І. в статті [59] свідчать про те, що подальший розвиток перспективних видів перевезень неможливий без розв'язання проблеми забезпечення високих швидкостей доставки вантажів. Значним стримувальним чинником виступають прикордонні перевантажувальні станції, на яких тривалий час простоюють вагони з вантажами міжнародного сполучення. На основі досліджень автори виділяють питання про вдосконалення технології обслуговування транспортних засобів на залізничних пунктах переходу.

Вирішення цього питання дозволить скоротити перебування на українських залізницях вагонів іноземних держав, поліпшити показники

використання рухомого складу, прискорити доставку вантажів, знизити собівартість перевезення, що підвищить конкурентоспроможність залізниці на ринку транспортних послуг.

У роботі [76] автор Wronka J. Оцінює можливість відкриття нових маршрутів інтермодальних контейнерних перевезень між Європою та Азією. Oudani, M., El Hilali Alaoui, A., Boukachour J. вирішують в своїй роботі [77] задачу ефективного розташування інтермодальних контейнерних терміналів із залученням математичного апарату генетичних алгоритмів. Kreutzberger, E., Konings, R. у [78] пропонують вирішення задачі географічного розташування контейнерних хабів для підвищення ефективності взаємодії залізничного і морського транспорту в європейській системі інтермодальних перевезень.

Xie, Y.; Song, D.P. у [79] наводять моделі для вироблення стратегій по додатковій підготовці потоків контейнерів з метою оптимізації складного процесу завантаження суден.

У роботі Chang, Zhu [80] запропонована модель, яка в оперативному режимі дозволяє управляти процесом розміщення контейнерів у порту. Дана модель дозволяє оптимізувати процес перевантаження контейнерів за рахунок урахування прогнозованої інформації про прибуття поїздів та суден, кількість вільних місць у них.

2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМИ КОНТЕЙНЕРНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В РАМКАХ СИСТЕМИ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

2.1 Передумови формалізації процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями та аналіз факторів, що впливають на вибір стратегії доставки контейнерів до порту

Управління інтермодальними перевезеннями – складний і відповідальний процес. При здійсненні міжнародних і міжконтинентальних контейнерних перевезень разом із морським транспортом традиційно використовується залізничний транспорт. Задача залізничного транспорту полягає у забезпеченні транспортування по так званих «сухопутних мостах» – сухопутних ділянках, на яких маршрут починається або закінчується, або через які він проходить транзитом. Як було зазначено вище, незважаючи на значний рівень комп'ютеризації і інформатизації, рівень затримок доставки вантажів у галузі контейнерних інтермодальних перевезень не зменшується. Незадовільна швидкість просування контейнерних поїздів є суттєвим фактором виникнення цих затримок. Дана проблема є загальною, а не лише постає перед інтермодальними операторами, що експлуатують Сибірський і Євразійський континентальні сухопутні мости, які проходять відповідно територією Росії та Казахстану і використовуються для доставки товарів із Японії, Південної Кореї і Тайваню до країн Східної Європи. Вона стосується також і Американського та Канадського сухопутних мостів, через які японські товари потрапляють до споживачів у США і Канаді та через порти Німеччини і Нідерландів до споживачів у Західній Європі. Така ситуація склалася внаслідок відсутності дієвих підходів до побудов систем управління, які б демонстрували високий рівень ефективності в умовах невизначеності, яка є природною складовою перевізного процесу. У випадку залізничної доставки контейнерів до порту важливим також є питання узгодженості цього процесу із розкладом прибуття

суден. Таким чином, актуальною задачею є формування автоматизованої технології організації контейнерних залізничних перевезень, яка б забезпечила високий рівень надійності та конкурентоспроможності системам інтермодальних контейнерних перевезень за рахунок створення та використання системного ефекту при взаємодії підприємств залізничного і морського транспорту. Типову схему полігону, що відповідає сухопутній частині шляху, яку долають контейнери за допомогою залізничного транспорту в напрямку морського порту, наведено на рис.2.1.

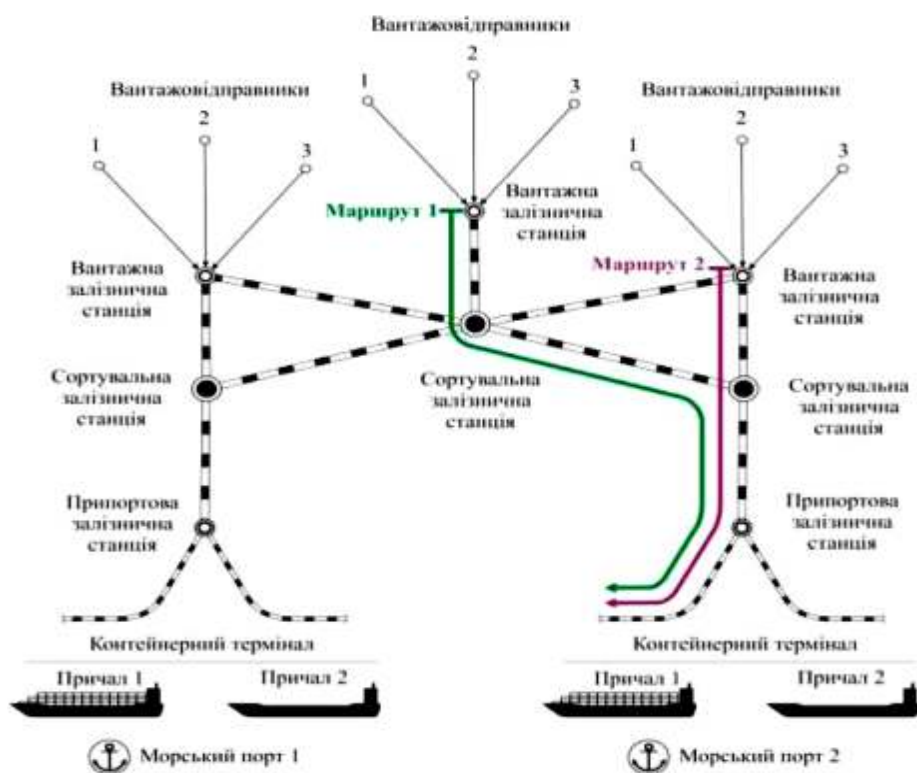


Рис.2.1. Схема організації доставки контейнерів залізничним транспортом до морських портів при здійсненні інтермодальних перевезень

Зменшення собівартості переміщення контейнерів на всіх ділянках шляху є ключовим моментом системи інтермодальних перевезень, адже собівартість є їх основною конкурентною перевагою. Використання контейнерів попри зручність при оперуванні ними повинно забезпечувати зменшення використання людської праці, тривалості вантажних операцій, зменшення витрат на охорону та зменшення часу доставки вантажів. Час

доставки вантажів для вантажовласників також має важливе економічне підґрунтя. Навіть незначне збільшення швидкості доставки вантажів у міжнародному сполученні для середніх та великих компаній має істотний економічний ефект. Суть даного ефекту полягає у прискоренні обігу оборотних коштів, адже у контейнерах перевозять вантажі, які переважно мають високу питому вартість. Основним недоліком морської ділянки шляху є значний термін доставки, який пов'язаний із невеликою швидкістю переміщення вантажних суден, витратами часу на перевірку та оформлення документів у портах, можливою необхідністю заходу контейнеровозів до факультативних портів для здійснення вантажних операцій. Разом з тим, морські перевезення і так є найбільш дешевим видом транспорту, а їх подальша оптимізація є можливою як за рахунок організаційних заходів, як, наприклад, удосконалення систем управління процесами експлуатації суден, так і за рахунок впровадження нових технічних рішень, наприклад, підвищення економічності енергетичних установок суден тощо.

Іншою справою є переміщення контейнерів залізничними шляхами України, де організаційні чинники мають вирішальне значення. Застосування недосконалих технологій організації перевезень пов'язане із можливими значними невиробничими втратами часу та збільшенням експлуатаційних витрат для інтермодальних операторів внаслідок перепростоїв поїздів, що містять у своєму складі фітінгові платформи з контейнерами, на сортувальних і припортових станціях. Останнім часом всі ці негативні явища лише підсилюються на фоні посилення таких тенденцій, як нестача тягового рухомого складу, нестача та незадовільний стан парку контейнерів та фітінгових платформ. Ускладнює ситуацію також і поступова деградація залізничної інфраструктури, в наслідок якої зменшується пропускна спроможність ліній та переробних потужностей сортувальних станцій. Крім цього, до значного збільшення експлуатаційних витрат при здійсненні інтермодальних контейнерних перевезень призводить і несвоєчасне забезпечення суден контейнерами для завантаження в наслідок надвисокої

вартості простою суден. Таким чином, процес організації сухопутної частини інтермодальних перевезень має значні резерви для його оптимізації, однак для цього необхідно розробити сучасну автоматизовану технологію організації залізничних контейнерних перевезень, яка забезпечить належну швидкість доставки контейнерів залізничними шляхами до порту із урахуванням розкладу заходу суден із мінімальними витратами.

Для розроблення такої технології необхідно формалізувати в рамках єдиної моделі процеси накопичення контейнерів на термінальних станціях, формування і просування контейнерів у залізничному сполученні до морських портів в умовах функціонування системи інтермодальних перевезень. Основна задача управління процесом формування та просування контейнерних поїздів залізничними шляхами для своєчасного перевантаження на морські судна полягає у виборі стратегії накопичення контейнерів на термінальних пунктах. Стратегія накопичення маршрутів, тобто повноскладних поїздів, що містять у своєму складі лише фітінгові платформи із контейнерами і прямують без переробок до припортової станції, на перший погляд здається найбільш раціональною. Відсутність переробок прямих поїздів на сортувальних станціях повинна призводити не лише до зменшення експлуатаційних витрат, але й забезпечувати мінімізацію часу на транспортування контейнерів від термінального пункту до припортової станції.

Однак при детальному її вивченні виявляється, що вона також може призводити до значних втрат [11]. Накопичення маршруту з контейнерів може потребувати набагато більше часу, ніж було заплановано. Причиною цього може стати мінливість ринкової кон'юнктури або інші чинники. За таких умов доставка партії контейнерів до порту може не відбутися вчасно, що в свою чергу може стати причиною перепростою судна під навантаженням. Інша стратегія, за якою навіть декілька контейнерів, які прибувають на термінальну станцію, відправляються у бік припортової станції у складі поїздів, що формуються на станції або проходять її транзитом, також може бути неефективною. За такою схемою час доставки контейнерів може значно

збільшитись внаслідок проходження переробок на сортувальних станціях, що також може стати причиною додаткового простою судна у порту. Таким чином, раціональним підходом до організації сухопутної частини інтермодальних перевезень є формування змішаної стратегії, яка дозволить визначати найбільш вигідний варіант відправлення контейнерів у бік порту з урахуванням поточної та прогнозованої інформації.

Під точною інформацією можна розуміти попередні дані, які станція може отримувати від вантажовідправників. Однак достовірність навіть такої інформації ніколи не наближується до 100 %, адже можуть мати місце невірні розрахунки, непередбачувані затримки в наслідок виходу з ладу вантажного обладнання та з інших причин.

Таким чином, адекватна модель технологічного процесу, яка буде придатна для використання у якості основи для формування автоматизованої технології організації транспортування контейнерів залізничними шляхами в рамках системи інтермодальних перевезень, повинна враховувати його стохастичну складову.

2.2 Вибір математичного апарату для формалізації процесу прибуття контейнерів до термінальних станцій

Одразу слід зазначити, що класична теорія ймовірностей спрямована на моделювання імовірності настання одиничних подій або їх комбінацій. Моделювання випадкових процесів, що пов'язані із послідовностями подій у часі, має безліч специфічних особливостей і є складним завданням, однак існують декілька засобів математичного апарату, які здаються такими, що можуть бути застосовані для його вирішення. Наприклад, апарат мереж Петрі був розроблений саме для моделювання дискретних випадкових процесів.

Однак при більш детальному його вивченні можна виявити, що даний математичний апарат є своєрідною «річчю у собі», його практично неможливо застосувати у складі інших математичних моделей, які містять традиційні

математичні конструкції. Існує також складність отримання деяких характеристик процесу, до того ж, всі отримані числові характеристики моделі Петрі носять виключно емпіричний характер. Однак побудувати необхідну модель використовуючи виключно мережі Петрі, також практично неможливо.

Навіть у самих сучасних версій цього математичного апарату, такого як кольорові мережі Петрі, не існує деяких важливих механізмів моделювання таких процесів як, наприклад, процес накопичення елементів, якими в данному випадку є контейнери. Його можна змодельовати лише за допомогою введення у модель штучних конструкцій. Як стверджують автори, це обумовлене необхідністю збереження простоти семантики цього популярного математичного апарату.

Іншим кандидатом для вирішення задачі є математичний апарат теорії марковських процесів. Але при детальному його вивченні можна прийти до висновку, що він більше спрямований на теоретичні дослідження. Однак він також не є зручним апаратом для практичного застосування, адже практично неможливо обчислювати і використовувати величини таких показників як, наприклад, багатовимірні щільності та кореляції. Іншим математичним апаратом, який зберігає всю повноту і точність математичного описання випадкових процесів і в той же час спрямований на практичне застосування є математичний апарат теорії випадкових потоків. Його перевагами є можливість описання числових характеристик випадкових послідовностей подій, які відносяться не лише до класу марковських процесів, і які передбачають можливість одночасного настання одразу декількох подій та зміну імовірнісних характеристик у часі. Таким чином, теорія випадкових потоків є найбільш адекватним математичним апаратом для представлення потоків прибуття контейнерів на термінальні залізничні станції.

2.3 Дослідження процесу накопичення контейнерів на термінальних залізничних станціях за допомогою математичного апарату випадкових потоків

Важливим критерієм якості управлінських рішень є ступінь їх обґрунтованості. В той же час в реальному світі існує невелика кількість процесів, які можуть за певних умов вважатись детермінованими. Як було зазначено раніше, транспортні процеси набагато більше відчують вплив випадкових факторів, у порівнянні із процесами у інших галузях виробництва.

За таких умов вкрай важливим етапом розвитку автоматизованих систем управління є побудова моделей, які не лише реалізують типову логіку технологічного процесу, але й здатні обирати найкраще рішення із множини альтернатив на основі аналізу його поточних імовірнісних характеристик в реальному масштабі часу.

Ключовим моментом вирішення задачі організації транспортування контейнерів є визначення оптимального часу завершення накопичення контейнерної партії. Цей час повинен відповідати максимуму, або прийнятному значенню імовірності того, що вже накопичена партія контейнерів буде доставлена до порту вчасно і не відбудеться затримки судна. Таким чином, задача полягає в тому, щоб забезпечити доставку необхідної кількості контейнерів до порту максимально дешевим способом вчасно. Успішне вирішення даної задачі є можливим лише за умови, що рішення по терміналах, які пов'язані єдиним транспортним процесом, тобто терміналах, які відправляють контейнерні партії для завантаження одного й того ж судна, будуть прийматись з урахуванням системного ефекту у єдиному центрі прийняття рішень.

Таким чином, для можливості прийняття обґрунтованих рішень щодо визначення часів завершення накопичення контейнерних партій та вибору способів їх доставки до порту необхідно вирішити не лише задачу прогнозування процесу надходження контейнерів до термінальних станцій, але й побудувати модель оцінки імовірності можливих варіантів реалізації цього

процесу. Отже першочерговим завданням для побудови даної моделі є дослідження процесу надходження контейнерів до термінальних станцій.

2.5 Формалізація процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями у вигляді задачі стохастичного програмування

Як було доведено вище, транспортування контейнерів сухопутною частиною шляху при здійсненні інтермодальних перевезень не лише відчуває вплив значної кількості випадкових процесів, але й сам первинний контейнеропотік, який зароджується з потоків вантажовідправників, також може бути представлений випадковим точковим процесом. Ця випадковість є джерелом математичної невизначеності, яка не лише представляє додаткову складність разом із комбінаторною складністю задачі, але й може суттєво її посилювати. Таким чином дана задача управління представляє собою задачу стохастичної оптимізації. Однак задачі, які розглядають не окремі випадкові події або змінні, а випадкові потоки є найменш дослідженими в науковій літературі [100].

Вочевидь ця задача належить до підкласу задач стохастичної оптимізації, який має назву «стохастичне програмування». Це підтверджує не лише той факт, що до області рішень даної задачі може бути застосоване поняття розмірності, яка залежить від вихідних даних задачі, а саме від кількості термінальних залізничних станцій, що розглядаються в межах системи інтермодальних перевезень, а отже ця область може бути представленою у вигляді векторного простору, який має кінцеву розмірність. Однією з основних особливостей, які також притаманні задачам стохастичного програмування і відокремлюють їх з множини інших задач стохастичної оптимізації – є спосіб визначення цільової функції та обмежень – в задачах стохастичного програмування значення деяких із цих складових елементів математичної моделі є числовими характеристиками випадкових явищ, які залежних від значень, які приймають змінні моделі [101]. Такими явищами, наприклад, є

процеси проходження поїздів, що містять контейнери, через сортувальні станції, та в першу чергу це випадкові потоки надходження контейнерів та пов'язані з ними лічильні потоки, параметри яких, в тому числі й імовірність, залежать від точки, обраної на часовій вісі процесу. Якщо $F(x)$ – цільова функція, в задачі стохастичного програмуванні визначена функція $f(x, \xi)$, де $x \in \mathbb{R}^n$ – вектор керуючих змінних, ξ – вектор випадкових параметрів, тоді формально цільову функцію в загальному вигляді можна записати наступним чином [101]

$$F(x) = M(f(x, \xi)) = \int_{\Omega} f(x, \xi(\omega)) P(d\omega),$$

де Ω – абстрактний імовірнісний простір; P – відповідна імовірнісна міра; ξ – вектор імовірнісних змінних.

Слід зазначити, що важливим моментом моделі з практичної точки зору є необхідність забезпечення певного рівня надійності рішень, які можуть бути отримані за допомогою її застосування. Тобто виникає необхідність накладення обмеження на саму імовірнісну міру P , а отже її також необхідно віднести до складу змінних моделі.

Таке обмеження призначене для звуження області допустимих рішень та забезпечення належного рівня впевненості у можливості практичної реалізації отриманого рішення. Але в той же час добре відомо, що такі обмеження викликають додаткові математичні труднощі в ході оптимізації моделі, такі як відсутність опуклості або зв'язності області рішень [102].

2.6 Формування математичної моделі

Важливою складовою моделі управління контейнерними перевезеннями є модель кількісної оцінки надходження контейнерів до термінальних станцій з одночасним контролюванням імовірнісних характеристик цього процесу. Таким чином, із урахуванням отриманих вище моделей, визначимо функціонал

$$W = W\left(P, \tau, \{\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_{n^c}(t)\}, \{q_1, q_2, \dots, q_{n^c}\}\right),$$

який повертає мінімальне значення кількості контейнерів, що із імовірністю P будуть накопичені на станції протягом часового інтервалу τ із урахуванням множини функцій інтенсивностей $\{\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_{n^c}(t)\}$ та множини величин кратностей $\{q_1, q_2, \dots, q_{n^c}\}$ складових потоків, де n^c – кількість складових потоків.

Слід також зазначити, що в системі інтермодальних перевезень не лише потоки контейнерів від вантажовідправників до термінальних пунктів є випадковими. Фактор випадковості у повній мірі присутній таким його параметрам, як, наприклад, час переформування поїздів на сортувальних станціях, час слідування поїздів по дільницях [10], час переміщення поїзда від припортової залізничної станції до портових складів або причалів та багато інших параметрів. Неодноразово доведено [103], що перелічені параметри підпорядковуються нормальному або близьким до нього законами розподілу, фактичні значення цих параметрів можуть відрізнятися від середніх або нормативних у декілька разів. Отже можна стверджувати, що планування транспортних процесів без урахування різних видів їх невизначеності може значно знижувати якість управління. В умовах високої щільності та когерентності процесів при здійсненні інтермодальних перевезень врахування імовірнісної природи процесів є критично важливим при прийнятті рішень в ході оперативного планування. З урахуванням вищезазначеного стає можливим формулювання задачі раціональної організації транспортування контейнерів до морського порту за допомогою залізничного транспорту при здійсненні інтермодальних перевезень у вигляді задачі стохастичної оптимізації.

Основним чинником управління за таких умов є визначення часів закінчення накопичення контейнерів і початку їх транспортування до морського порту. Від кількості накопичених контейнерів залежить спосіб і відповідна собівартість їх переміщення: у складі прямого маршруту, у складі

неповносоставного прямого поїзда, у складі інших поїздів із подальшим переформуванням на сортувальних станціях на шляху прямування. Слід зазначити, що така постановка задачі допускає певні варіювання собівартості транспортування контейнерів як на різних залізничних напрямках так і в межах одного напрямку. Однак головною метою є мінімізація сукупних витрат інтермодального оператора при здійсненні доставки контейнерів залізничними шляхами до морського порту. За таких умов у якості критерію доцільно обрати питому величину витрат, що припадає на транспортування одного контейнера. Отже цільову функцію можна визначити наступним чином

$$C(\tau, \omega, P) = \frac{1}{\sum_{i=1}^Z (N_i(P, \tau_i) + N_i^0)} \sum_{i=1}^Z \left(e_{kr} \int_0^{t_0} W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right) dt + e_{sm} \cdot t_0 \frac{1}{\rho_i} \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right) + N_i^0 \right) + e_{sr} \frac{t_0}{V_i^{sm}} + \left(e_{kc} \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right) + N_i^0 \right) + e_{sc} \frac{1}{\rho_i} \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right) + N_i^0 \right) \right) \times \left(\tau_i + \frac{t_0}{V_i^{sm}} + (1 - \omega_i) H \left((m_i - \delta_i) - \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right) + N_i^0 \right) \right) \sum_{j=1}^Z \left(\mu_j^{sm} + \sigma_j^{sm} \sqrt{2 \operatorname{erf}^{-1}(2^P - 1)} \right) + \frac{k_i^{sm}}{\lambda_i^{sc}} \left(\int_0^{t_0} x^{\xi_i - 1} e^{-x} dx \right)^{-1} \right) + e_{cs} \left(T_i(\tau_i) + \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right) + N_i^0 \right) t_k - t_m \right) H \left(T_i(\tau_i) + \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right) + N_i^0 \right) t_k - t_m \right) \rightarrow \min$$

де P – поточний рівень імовірності; Z – кількість маршрутів доставки контейнерів до порту; τ – змінний вектор часів закінчення накопичення контейнерних партій $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_Z)$ на термінальних станціях маршрутів; ω – вектор булевих змінних $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_Z)$, які приймають значення 1 у випадку відправлення неповносоставного маршрутного контейнерного поїзда, та 0 у іншому випадку; e_{kr} – вартість контейнеро-години; e_{sm} – вартість вагоно-години; e_{sc} – вартість вагоно-кілометра; e_{cs} – вартість судно-години; t_0 – момент початку періоду планування; $W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\xi_i}(t)\}, \{q_{1i}, \dots, q_{\xi_i}\} \right)$ –

функціонал, який повертає мінімальне значення кількості контейнерів, які із імовірністю P будуть накопичені на термінальній станції i -го маршруту на момент часу τ_i відповідно до множини функцій інтенсивностей $\{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i}(t)\}$ та множини величин кратностей $\{q_{li}, \dots, q_{n_i}\}$ складових потоків прибуття контейнерів на термінальну (початкову) станцію i -го маршруту; n_i^c – кількість складових потоків на термінальній станції i -го маршруту; N_i^0 – кількість контейнерів на термінальній станції i -го маршруту на момент початку періоду планування t_0 ; l_i – довжина i -го маршруту від термінальної станції до порту; ρ_i – місткість фітінгової платформи у контейнерах на i -му маршруті (залежить від типів фітінгових платформ та типів контейнерів, що використовуються); m_i – норма кількості вагонів у складі поїзда на i -му маршруті із розрахунку, що одна фітінгова платформа перевозить один 40-футовий контейнер; δ_i – максимальне відхилення кількості вагонів у бік зменшення при формуванні прямого контейнерного поїзда на i -му маршруті; v_i^{diz} – середня дільнична швидкість поїзда на i -му маршруті; S_i – кількість сортувальних станцій на шляху прямування за i -м маршрутом; $\mu_{ij}^{nep}, \sigma_{ij}^{nep}$ – величини математичного очікування та середньоквадратичного відхилення відповідно при обчисленні квантілі нормального закону розподілу часу переробки поїзда на j -й сортувальній станції i -го маршруту

$$Q_{ij}^{nep}(P, \mu_{ij}^{nep}, \sigma_{ij}^{nep}) = \mu_{ij}^{nep} + \sigma_{ij}^{nep} \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2P-1),$$

що містить у своєму складі вагони з контейнерами; $\operatorname{erf}^{-1}(x)$ – зворотна функція похибок Лапласа; λ_i^{nc}, k_i^{nc} – інтенсивність та порядок розподілу Ерланга, за яким розподілений час просування поїздів від припортової станції до порту на i -му маршруті, що використовуються при обчисленні квантілі

$$Q_i^{nc}(P, k_i^{nc}, \lambda_i^{nc}) = \frac{k_i^{nc}}{\lambda_i^{nc}} \left(\int_0^P x^{k_i^{nc}-1} e^{-x} dx \right)^{-1};$$

$T_i(\tau_i)$ – поточний час прибуття контейнерів по i -му маршруту до порту; t_x – середній час завантаження контейнера на судно; t_{zn} – момент часу закінчення завантаження судна згідно розкладу; H – функція Гевісайда, яка визначена наступним чином

$$H(x) = \begin{cases} 1 & , \text{якщо } x > 0 \\ 0 & , \text{якщо } x \leq 0 \end{cases}$$

Слід також зазначити, що витрати, пов'язані із можливою затримкою судна, враховані у цільовій функції лише з метою підвищення якості планування роботи залізничного транспорту при взаємодії із морським портом, а не для одночасної оптимізації експлуатаційних витрат підприємств залізничного і морського транспорту. Перший множник представляє собою величину зворотну до сумарної чисельності контейнерних партій і використовується для обчислення питомих експлуатаційних витрат, що припадають на перевезення одного контейнера.

Перший доданок у дужках представляє собою витрати, пов'язані з контейнеро-годинами, що витрачаються у процесі накопичення контейнерних партій на термінальних станціях. Другий доданок представляє витрати, пов'язані з вагоно-кілометрами, що виникають при переміщенні контейнерних партій. Третій доданок представляє витрати, що пов'язані поїздо-годинами у русі при транспортуванні контейнерних партій. Четвертий доданок представляє витрати, що пов'язані із вагоно- та контейнеро-годинами, які виникають під час руху поїздів по дільницях, під час невикористаного простоя вагонів та в процесі їх обробки на сортувальних станціях, а також в процесі просування поїздів від припортових станцій до порту. П'ятий доданок представляє витрати, що пов'язані із невикористаним простоем судна, які виникають внаслідок невчасного прибуття контейнерних партій.

Оптимізація даної моделі повинна проводитись із урахуванням наступних обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_i \geq 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, z \\ P \geq P_{\min} \\ N_i^0 + W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\kappa i}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{\kappa i}\}) \leq m_i^{\max}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, z \\ \sum_{i=1}^z \int_{\tau_0}^{\tau_i} W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{\kappa i}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{\kappa i}\}) dt \leq N_c \end{array} \right.$$

де P_{\min} – мінімально допустимий рівень імовірності при плануванні, тобто мінімальний рівень впевненості у можливості реалізації отриманого плану;
 m_i^{\max} – максимально допустима кількість вагонів у складі поїзда на i -му маршруті; N_c – кількість вільних місць для завантаження контейнерів на судні.

Перше обмеження необхідне для забезпечення умови невід’ємності часів завершення накопичення контейнерних партій. Друге обмеження забезпечує необхідний рівень здійсненності плану. Третє обмеження запобігає накопиченню контейнерів у кількості, яка перевищує максимально допустимий склад поїзда. Четверте обмеження запобігає накопиченню та перевезенню контейнерів сумарно по всіх терміналах у кількості, яка перевищує кількість вільних контейнеромісць на судні.

Оптимізація сформованої математичної моделі представляє складну задачу стохастичного програмування, вирішення якої потребує розроблення певної технології, яка дозволить автоматизувати не лише ті обчислювальні процеси, які безпосередньо пов’язані із обчисленням значень цільової функції та пошуком оптимального рішення, але й процеси обробки історичної інформації та здійснення прогнозів з метою забезпечення процесу оптимізації якісними вихідними даними.

3. ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ В УМОВАХ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

3.1 Аналіз вихідних даних та методів прогнозування часових рядів

Важливою складовою процесу оптимізації моделі організації транспортування контейнерів залізницею в рамках системи інтермодальних перевезень є завдання отримання і підготовки даних. Розроблена модель є моделлю стохастичного програмування і дозволяє варіювання змінними в певних межах, враховуючі імовірнісні та статистичні залежності між ними.

Однак, для забезпечення точності, яка б забезпечила можливість вироблення якісних управлінських рішень, використання лише статистичних даних процесів надходження контейнерів, таких як, наприклад, математичне очікування та дисперсія інтервалу між надходженням контейнерів, є недостатнім.

Таким чином, для можливості використання моделі в першу чергу потрібна динаміка параметрів контейнеропотоків. Враховуючи підходи теорії точкових процесів, які були застосовані при побудові моделі, інтенсивність можна вважати практично вичерпною характеристикою потоку. Враховуючи те, що при вирішенні задачі контейнеропотоки розглядаються як нестационарні випадкові потоки, таким чином, інтенсивність не є сталою величиною а представляє собою часову залежність.

Таким чином, забезпечення можливості прийняття рішень на майбутній плановий період потребує наявності прогнозу інтенсивностей потоків надходження контейнерів до термінальних станцій. Здійснення прогнозу потребує наявності даних за певний період у минулому. Однак у такому разі постає питання представлення цих даних. Популярним способом представлення зміни показників у часі є часові ряди. За визначенням: часові ряди – зібраний в певні моменти часу статистичний матеріал що містить

значення одного чи декількох параметрів. З іншого боку слід зазначити, що у другому розділі аналітичні функції інтенсивності були представлені за допомогою поліномів. Першочерговим питанням, що виникає у зв'язку з цим є – чи існують відповідні прогностні моделі, які б приймали у якості вхідних даних аналітичні залежності. Такі моделі дійсно існують, вони іноді використовуються в сферах економіки та фінансів, при вирішенні задач, які потребують більшої точності ніж доступні статистичні вибірки даних [104].

Однак їх реалізація пов'язана з необхідністю побудови складних різницевих схем та вирішення систем стохастичних диференціальних рівнянь [105]. Таким чином використання традиційних часових рядів, або хоча б дискретних моделей представлення даних є більш виправданим.

Наступним постає питання вибору математичного апарату для прогностної моделі. На рисунку 3.1 наведено схему класифікації найбільш популярних моделей, що використовуються для прогнозування часових рядів. Доволі широкий клас моделей, що у своїй основі використовують такі класичні методи як метод експоненційного згладжування та інші авторегресійні методи, як наприклад методи Бокса-Кокса [106] та Бокса-Дженкінса [107], які дозволяють відстежувати сезонні ефекти. Хоча більшість цих методів створені ще у 60-ті роки минулого сторіччя вони і досі успішно використовуються при створенні сучасних і ефективних прогностних моделей, як наприклад гібридна модель TBATS [108], яка з високою точністю відстежує мультисезонні паттерни.

Ключовим моментом популярності цих моделей є відносна простота їх побудови і застосування. Окремий клас моделей, які побудовані на основі методу Баєсовського виводу, має назву мереж довіри [109]. Ці моделі відносяться до галузі штучного інтелекту і будуються на основі графових структур, які представляють імовірнісні зв'язки. Однак для їх побудови необхідні спеціальні знання та наявність специфічного статистичного матеріалу, що значно ускладнює їх застосування. Клас моделей на основі мереж довіри, що використовуються для прогнозування часових рядів, включає

як безпосередньо моделі на основі Баєсових мереж, так і моделі, що створені на основі їх гібридизації з моделями класу нейронних мереж, як наприклад, глибинна мережа довіри з обмеженими машинами Больцмана (англ. deep belief network with restricted Boltzmann machines) [110]. Дана модель є ефективною, однак коло задач, у яких вона може бути успішно застосована, обмежено задачами, які розглядають хаотичні часові ряди, що зазвичай відносяться до області статистичної фізики. На основі аналізу була побудована класифікація основних типів моделей, які використовуються у сучасних дослідженнях та прогнозуванні часових рядів (рис. 3.1.).

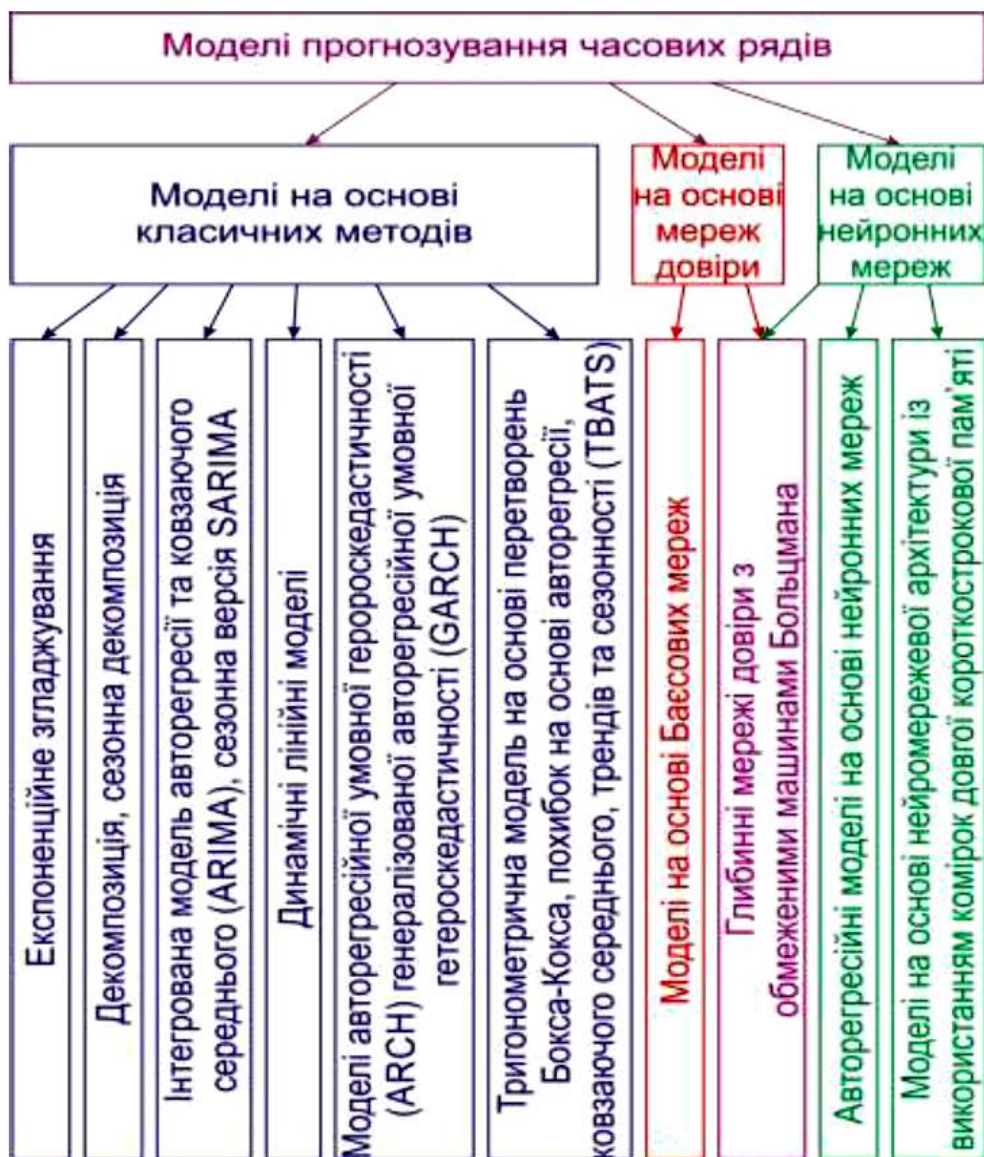


Рис.3.1. Класифікація моделей прогнозування часових рядів

Клас моделей що побудовані із застосуванням математичного апарату нейронних мереж також представлений моделями, що створені на основі гібридизації із класичними моделям, в першу чергу моделями авторегресії. В Помітні успіхи в задачах передбачення послідовностей, до яких відносяться і часові ряди, були досягнуті завдяки використанню в прогнозних моделях математичного апарату рекурентних нейронних мереж (англ. recurrent neural network, RNN) [111]. Однак найбільш успішною сучасною нейронною архітектурою для моделей прогнозування часових рядів вважаються рекурентні нейронні мережі на основі модулів довгої короткострокової пам'яті (рис. 3.1).

3.2. Принципи застосування моделей глибинного навчання для прогнозування часових параметрів та метод кодування даних функцій інтенсивності контейнеропотоків

Нейронні мережі глибинного навчання для налаштування ваг використовують алгоритм RMSProp, який є спеціальним різновидом алгоритму стохастичного градієнта спуску. Стохастичний градієнтний спуск - це алгоритм оптимізації, який оцінює градієнт помилок для поточного стану моделі за допомогою прикладів з навчальної вибірки даних, а потім оновлює ваги моделі за допомогою алгоритму зворотного поширення помилок (англ. Back propagation). Важливою характеристикою цього процесу є параметр, який називається "швидкістю навчання" (англ. learning rate), який безпосередньо пов'язаний з розміром кроку алгоритму градієнтного спуску. Штучні нейронні мережі відносяться до галузі штучного інтелекту (англ. artificial intelligence). Вони були створені як моделі, які взмозі нівелювати недоліки традиційних алгоритмів навчання, які базуються на програмуванні на основі правил.

Нейронні мережі довгої короткострокової пам'яті (англ. long short-term memory; LSTM) відносяться до класу рекурентних нейронних мереж [112].

Нейронні мережі архітектури LSTM, як і більшість моделей класу рекурентних нейронних мереж, є універсальними у тому сенсі, що за умови достатньої кількості нейронів вони можуть апроксимувати будь які функції із заданим рівнем точності, тобто імітувати обчислювальні процеси будь якої складності. Такі обчислення є можливими після проходження процесу навчання та формування матриці ваг зв'язків між нейронами, яку можна інтерпретувати як базу знань і як комп'ютерну програму. Нейронні мережі архітектури LSTM можна вважати найменш універсальними із усього класу рекурентних нейронних мереж. Однак саме ці нейронні мережі здатні реалізувати технологію глибокого навчання (англ. deep learning) [113] і є найбільш пристосованими саме до задач обробки даних, класифікації, прогнозування часових рядів, зокрема нерегулярних часових рядів які не мають чітких параметрів та сталої величини кроку, часових рядів, ключові події яких віддалені на значні аперіодичні відстані, прогнозування яких за допомогою нейронних мереж будь яких інших архітектур є неефективним або практично неможливим.

Задача прогнозування часових рядів за допомогою нейронних мереж вирішується завдяки таким їх властивостям як можливість здійснювати узагальнення та знаходити приховані залежності [114]. Це ствердження в повній мірі стосується моделей на основі мереж «глибокого навчання».

Нейронні мережі напрямку «глибокого навчання» є значно складнішими за нейронні мережі традиційного напрямку «машинного навчання». В процесі навчання їм непотрібно безпосередньо вказувати на певні ознаки даних, вони самі здатні їх виділяти. Фактично вони самі створюють функціональні структури, які здатні робити логічні висновки. Однак для цього вони можуть потребувати значно більших обсягів даних, обчислювальних потужностей та часу на навчання за мережі, що створені за технологіями машинного навчання.

Відносна нечутливість мереж архітектури LSTM до наявності часових затримок значної тривалості у даних часових рядів дозволяє їм успішно

конкурувати при вирішенні задач прогнозування часових рядів будь якої природи не лише з нейронними мережами інших архітектур, але й з іншими потужними математичними апаратами, які традиційно застосовуються у сфері прогнозування часових рядів, такими як приховані марковські мережі (англ. hidden markov models, HMM) та баєсові мережі (англ. bayesian nets, BN).

Однією з основних переваг LSTM-мереж є те, що у них певною мірою вирішена проблема довгострокової пам'яті. Рекурентні нейронні мережі, які існували до появи архітектури LSTM мали значно обмежені можливості запам'ятовування інформації. Мережі Елмана, наприклад, могли зберігати дані лише з попередньої ітерації обчислювального процесу мережі.

У мережах LSTM враховується взаємозв'язок вимірювань з часом, а не тільки статистичне різноманітність і статистичні характеристики вибірки. Таким чином, нейронна мережа архітектури LSTM є інструментом, який цілком доцільно застосовувати для прогнозування інтенсивності випадкових потоків, які представляють процеси надходження контейнерів на залізничні станції, які є термінальними пунктами в системах інтермодальних контейнерних перевезень. Як було показано вище, мережі даного типу можуть ефективно вирішувати задачі прогнозування часових рядів. Під часовими рядами маються на увазі послідовності даних, які є впорядкованими на часовій вісі. Таким чином, часові ряди – це послідовності даних з дискретним часом.

Однак зазвичай мається на увазі також і те, що ці дані відповідають точкам на часовій вісі, які є рівно віддаленими одна від одної.

Однак прибуття контейнерів на термінальну станцію відбувається в певні випадкові моменти часу. Отже кожна така подія може бути відносно рідким явищем. Існують методи прогнозування розріджених часових рядів (англ. Sparse time series), переривчастих часових рядів (англ. time series of intermittent demand). Також існують методи прогнозування таких часових рядів, як наприклад метод Кростона [115]. Однак подібні методи основані на простих математичних моделях, як наприклад модель експоненційного згладжування або модель експоненційно зваженої ковзаючої середньої. За допомогою даних

апріорі неможливо якісно вирішити задачу прогнозування процесу надходження контейнерів. У будь якому разі загальна задача високоточного прогнозування часів прибуття розрідженого або переривчастого потоку подій без застосування нейронних мереж є неможливою. З іншого боку слід зазначити, що процеси надходження контейнерів до термінальних станцій не завжди можна класифікувати як потоки рідких подій або переривчасті потоки.

У високорозвинених промислових регіонах Китаю навпаки контейнеропотоки можуть досягати таких інтенсивностей, коли середній інтервал часу між подіями потоку може досягати всього декількох секунд. До того ж, спрогнозувати з високою точністю послідовність настання навіть декількох подій практично неможливо.

За таких умов універсальну прогнозну модель можливо побудувати лише відмовившись від спроб прогнозування окремих точкових подій та переходу до прогнозування інтенсивностей потоку як функцій від часу. З іншого боку прогнозування функціональних залежностей можна здійснювати і без використання поняття часових рядів. Однак важливим є також і те, що отримання інтенсивності одразу у вигляді диференційованої функції дозволить уникнути зайвих перетворень та значно знизити обчислювальне навантаження.

Застосування способу представлення інтенсивності за допомогою полінома високого ступеня на стадії прогнозування є недоцільним одразу з декількох причин. Перша причина полягає в тому, що хоча такий спосіб дозволяє отримати диференційовану функцію, диференціювання якої до того ж не представляє жодних труднощів, однак при збільшенні глибини прогнозу він потребуватиме також і підвищення ступеня полінома для збереження рівня точності апроксимації залежності. А це призведе до необхідності зміни кількості параметрів прогнозуючої моделі. Однак друга причина є ще важливішою. Її суть полягає в тому, що побудова моделі, яка спрямована на прогнозування параметрів полінома кінцевого ступеня, апріорі ставить нейронну мережу у жорсткі рамки. Тобто такий підхід не дозволить використати в повній мірі ті можливості, які надають нейронні мережі

сучасних архітектур. Це твердження в першу чергу стосується саме нейронних мереж, що відносяться до напрямку «глибинного навчання». Адже саме ці мережі здатні відшукувати приховані глибинні залежності у масивах даних, які навіть після їх отримання не завжди можуть бути проаналізовані людиною, навіть якщо ця людина є фаховим профільним науковцем. Таким чином, до способу представлення функції інтенсивності для застосування в прогнозній моделі на основі сучасної нейронної мережі можна сформулювати низку вимог. По-перше: даний спосіб повинен дозволяти диференціювання функції за допомогою простої процедури. По-друге: точність представлення функції не повинна залежати від тривалості часового інтервалу, також метод повинен дозволяти представляти як залежності, що відповідають високим рівням інтенсивності так і ті, що представляють потоки рідких подій. І головне: даний спосіб не повинен створювати штучних обмежень і дозволяти послідовно обробляти історичні дані, тобто оперувати ними у той же спосіб що і часовими рядами.

На рисунку 3.2 наведена схема представлення інтенсивності випадкового потоку як функції від часу за допомогою числової послідовності.

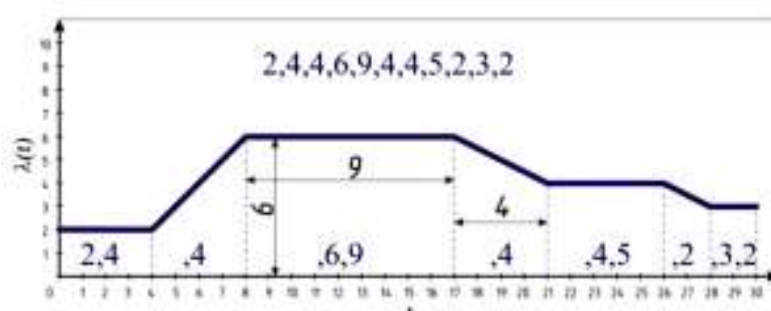


Рис.3.2. Схема кодування функції інтенсивності випадкового потоку у вигляді числової послідовності

Згідно до даної схеми функцію інтенсивності можна представити за допомогою числової послідовності. Крива залежності апроксимується ломаною лінією, яка має горизонтальні ділянки, що відповідають сталим рівням інтенсивності, та похилі ділянки, що відповідають перехідним режимам при переході від одного сталого рівня до іншого. Таким чином, функція кодується

набором даних у якому послідовно розміщені числа, що визначають сталий рівень інтенсивності, його тривалість та тривалість перехідного періоду, що слідує за ним. Такі трійки чисел можуть повторюватися безкінечно довго, як показано на рисунку. До того ж такий спосіб кодування є компактним, адже для представлення, наприклад, ділянки, що відповідає сталому рівню інтенсивності або часового інтервалу, на якому взагалі відсутні події, він дозволяє витратити всього одне число послідовності незалежно від тривалості даного інтервалу.

3.3. Обробка вихідних даних оптимізаційної моделі та моделювання параметрів потоків надходження контейнерів

Вихідними даними також є прогнози функції інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із крайностями від 1 до 3 до термінальної станції А на 24-годинний період. Дані функції, що представлені у формі, яка була запропонована вище (рис. 3.2.), наведені на рисунку 3.3.

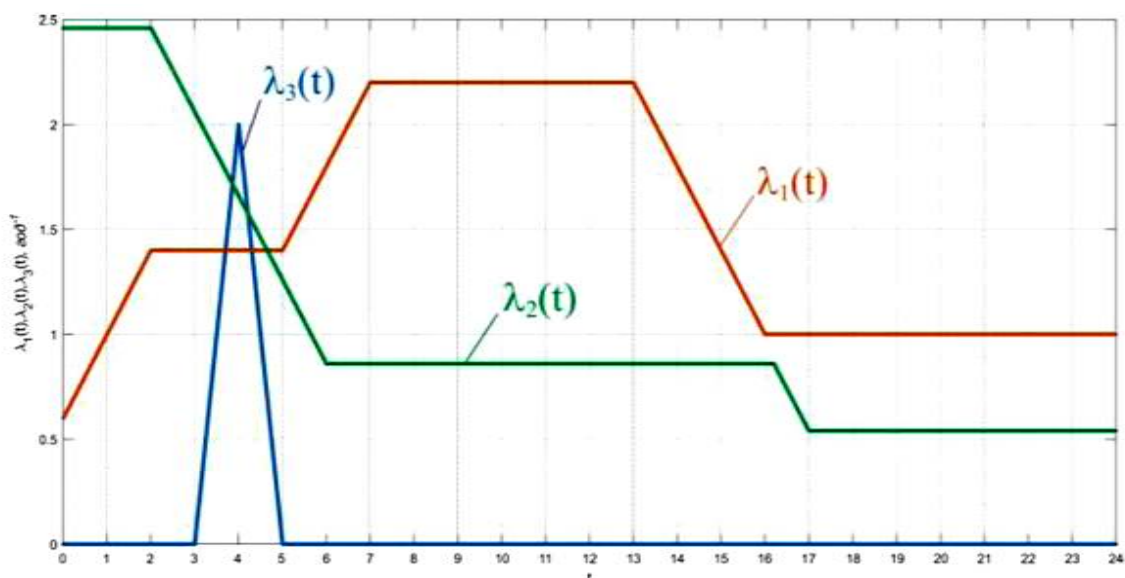


Рис.3.3. Функції інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із кратностями від 1 до 3

Дані функції представлені ломаними лініями. Для аналітичного представлення подібних залежностей зазвичай застосовують параметричний спосіб представлення функцій. Однак при такій формі запису виникають значні незручності як при визначенні залежностей автоматизованим способом, тобто в ході виконання програми, так і при визначенні та обчисленні інтегралів від них, що є критично важливим при вирішенні оптимізаційної задачі.

З цією метою була застосована компактна форма запису за допомогою використання функції модулю. Таким чином даний прийом дозволяє уникнути параметричної форми представлення функцій, необхідності інтегрування по частинах, а також отримання кумулятивних функцій інтенсивності в аналітичному вигляді, що є вкрай важливим. Отримані функції інтенсивності є інтегрованими на всій області визначення. Отже такий підхід дозволяє отримати представлення функцій інтенсивностей та кумулятивні функції інтенсивностей у компактному вигляді, але в першу чергу надає можливість автоматизувати та уніфікувати процес їх обчислення.

Як було зазначено вище, дослідження реальних контейнеропотоків має свою специфіку по відношенню до теорії випадкових потоків. Теорія випадкових потоків ставить свою задачею відшукати залежності для загальних випадків, що є частою причиною того, що багато задач теорії залишаються невирішеними в наслідок відповідних математичних ускладнень. Як, наприклад, при дослідженні неординарних потоків необхідно виходити з припущення, що кратності потоків можуть бути будь якими великими навіть до нескінченості. Отримані формули також є справедливими для довільного числа складових потоків, однак у вирішуваній задачі максимальна кратність потоку дорівнює 3. Виходячи з цього, запис формули можна спростити і зробити його більш наочним і зрозумілим. Отже за умови того, що контейнеропотік представлений як суперпозиція потоків з максимальною кратністю 3, формула може прийняти наступний вигляд:

$$P(k, [t_0, \tau]) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{n=0}^k \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^{\lfloor \frac{n-2i}{3} \rfloor} \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^{n-2i-3j} \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right)^i \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_3(t) dt\right)^j}{(n-2i-3j)! i! j!},$$

де $\lfloor \frac{x}{y} \rfloor$ – означає цілу частину від ділення числа x на число y ; n – ітератор, що перебирає всі можливі розміри контейнерних партій, які не перевищують k . Даний запис надає більш наочне уявлення про комбінаторний характер процесу обчислення даної формули. Таким чином, ітератор другої суми i перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 2, які відповідають умові неперевищення кількості контейнерів k . Ітератор третьої суми j перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 3, які відповідають умові неперевищення кількості контейнерів k з урахуванням кількості подій i потоку кратності 2. Величина $k-2i-3j$ представляє кількість подій потоку кратності 1 за тієї ж умови, та обчислюється за залишковим принципом.