

**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 ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ  
ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ»

Виконав  
Здобувач вищої освіти  
групи ІБЗТ-19зм



Кравченко Н.І.

Керівник:



ст. викл. Мірошникова М.В.

Завідувач кафедри:



проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Рецензент:



Ленський С.П.

Севєродонецьк – 2021

# **1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ В УКРАЇНІ**

## **1.1. Перспективи виробництва та експорту зерна в Україні**

Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки країни, який визначає обсяг пропозиції і вартість основних видів продовольства для населення країни, формує значну частину доходів сільськогосподарських виробників, визначає стан і тенденції розвитку сільських територій, формує валютні надходження країни за рахунок експорту. Зернова галузь розглядається як база і джерело сталого розвитку більшості галузей агропромислового комплексу та основа аграрного експорту [1].

Аналіз ринку дозволив виявити наступні тенденції розвитку аграрного сектору України за останнє десятиліття [2]: розвиток і домінування великих сільськогосподарських підприємств та холдингів у виробництві продукції рослинництва; ріст інтенсивності використання сільськогосподарських земель; використання нових технологій; розвиток приватної інфраструктури зберігання зерна сільськогосподарських виробників; вирівнювання сезонних коливань цін на зерно й масляні культури; чітка орієнтація на експортний ринок; поступова відмова від державного регулювання в зовнішній торгівлі.

Аналіз обсягів виробництва зернових в Україні показує, що в даний час спостерігається їх стійке зростання. Так, при світовому виробництві зернових у сезоні 2018/2019 р.р. 2,12 млрд. т. Україна займає 7-ю позицію після США (432 млн. т.), Китаю (397 млн. т.), ЄС (287 млн. т.), Індії (142 млн. т.), Російської федерації (107 млн. т.) і Аргентини (78 млн. т.) [3]. За останні 13 років виробництво зерна в Україні зросло в 2,6 рази – з 29,3 млн. т. в 2007 р. до рекордних 75,1 млн. т. в 2019 р., коли було зібрано 28,3 млн. т. пшениці, 35,8 млн. т. кукурудзи, 8,9 млн. т. ячменю, 0,7 млн. т. зернобобових, 0,3 млн. т. жита, 0,3 млн. т.

вівса, 0,1 млн. т. гречки, 0,2 млн. т. проса, 0,56 млн. т. гороху. Динаміку зміни обсягів виробництва зерна наведено на рис. 1.1 [4].

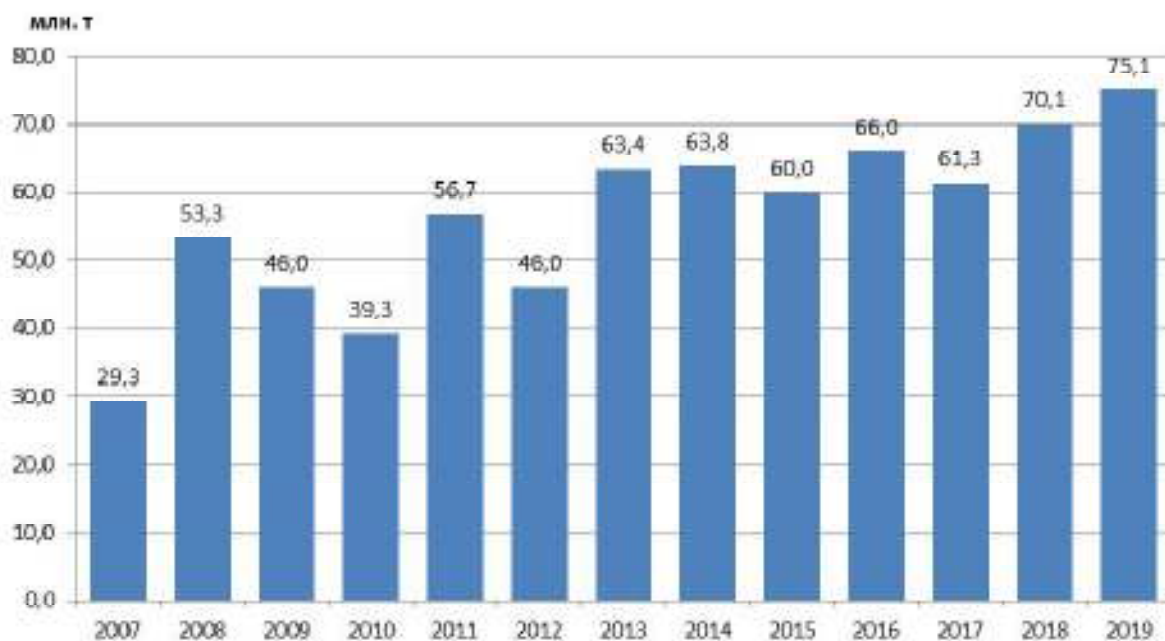


Рис.1.1. Динаміка обсягів виробництва зерна в Україні

Найбільшими виробниками зернових є Полтавська, Вінницька, Чернігівська, Черкаська, Сумська, Одеська, Київська, Хмельницька області, які забезпечують більше 50% усього виробництва [4]. При цьому, Черкаська, Сумська, Вінницька області демонструють і найбільшу врожайність зернових на рівні країн ЄС (близько 70 ц/га); середня ж врожайність зернових у 2018 р. склала 47,4 ц/га (пшениця – 30,6 ц/га, кукурудза – 62,1 ц/га), що однак, є найнижче середніх показників у країнах Європи (пшениця – 59,4 ц/га, кукурудза – 69,1 ц/га) [3]. Разом з тим, варто відзначити, що урожайність зернових в Україні демонструє тенденцію до зростання.

Відповідно прийнятій «Стратегії розвитку аграрного сектору економіки України на період до 2020 р.» [5] і «Єдиної комплексної стратегії та плану дій по розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на 2015-2020 роки» [1] обсяги виробництва зернових до 2020 р. передбачається збільшити на 30% – до рівня 80 млн. т. на рік. По оцінках же Української зернової асоціації щорічний обсяг виробництва зерна до 2020 р. може досягнути рівня

92 млн. т. [6]. Міжнародна незалежна організація макроекономічного аналізу та прогнозування IMF Group оцінює зростання виробництва зерна в Україні до 2022 р. на рівні 79,3 млн. т. (за умови зберігання українськими аграріями поточних темпів нарощування виробництва та існуючій врожайності зернових) та на рівні 100 млн. т. (за умови впровадження прогресивних технологій виробництва зерна та збільшення його врожайності) [7].

Враховуючи, що внутрішній щорічний попит становить близько 22...24 млн. т., зерно є одним з основних експортних товарів України [4, 7]. За останнє десятиліття обсяг експорту українського зерна виріс в 11,8 раз – з 3,7 млн. т. у 2007/2008 маркетинговому році (м. р.) до 49 млн. т. в 2018/2019 м. р. (рис. 1.2) [4]. По обсягах експорту зерна Україна стабільно посідає лідируючі позиції серед країн-експортерів, а в сезоні 2018/2019 поступилася лише США (92 млн. т.), покриваючи при цьому 13% від світових обсягів експорту (366 млн. т.) [3, 4].

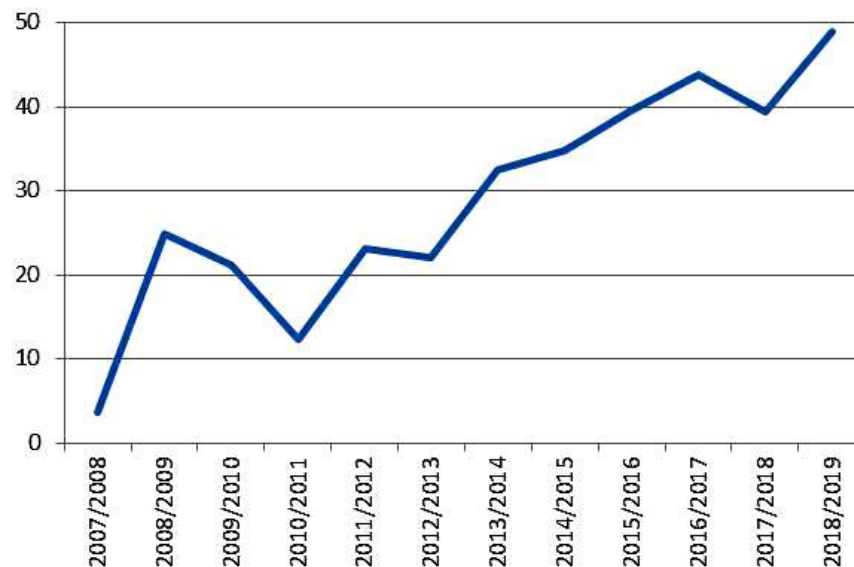


Рис.1.2. Динаміка експорту зернових в Україні, млн. т.

Варто зазначити, що зерно є значним джерелом валютних надходжень в Україну. Так, частка зернових у загальному обсязі експорту за 10 років зросла з 3,5% (1,35 млрд. USD) у 2006 р. до 15,3% (7,2 млрд. USD) у 2018 р., поступаючи наразі тільки експорту чорних металів (21%). [4].

При цьому експорт аграрної продукції в цілому та зернових, зокрема, зерно-вих планується щорічно збільшувати на 3...4% [1, 7, 8]. Згідно з прогнозом Української зернової асоціації передбачається експортувати не менш 60 млн. т. зерна в рік [6]. IMF Group прогнозує зростання обсягів експорту українського зерна до 2022 р. за песимістичним сценарієм до рівня 56 млн. т., а за оптимістичним – до рівня 79 млн. т. [7]. Основними споживачами українського зерна в останні роки стали Єгипет, Іспанія, Китай, Нідерланди, Індонезія та Саудівська Аравія [4].

## **1.2 Проблеми експорту українського зерна та напрямки їх подолання**

Важливим фактором підвищення конкурентоспроможності вітчизняного зерна на світових ринках є ефективна система його доставки від виробників в морські порти, через які здійснюється більше 95% усього експорту зернових [4, 7, 9]. Разом з тим, слід зазначити, що система організації вантажних перевезень України в цілому і залізничних, зокрема, в даний час демонструє досить низьку ефективність. Узагальнюючим свідченням цього є низький індекс ефективності логістики (LPI), який за оцінкою Світового банку для України в 2018 р склав 2,83 (66 місце); для порівняння, для Польщі – 3,54 (28 місце), а для Німеччини, яка є лідером рейтингу, – 4,20 [10]. За оцінками експертів у зерновому секторі України витрати, пов'язані з транспортуванням, становлять 50...55 USD/т, що становить близько 35% від кінцевої вартості зерна, для порівняння, в США ці витрати становлять близько 15 USD/т (9%), а в країнах ЄС – 18... 25 USD/т (12...16%) [9, 11]. Експерти міжнародної аналітичної транспортної компанії GEFCO оцінюють втрати українських виробників зерна через неефективну систему організації його перевезення на рівні 20 USD на кожній тонні (10... 15%), що за оцінками Світового банку призводить до недоотримання аграріями від 0,6 до 1,6 млрд. USD в рік [12].

При транспортуванні залізницею перевезення однієї тонни зерна в середньому обійдеться фермеру в 44 USD: 4 USD (9,1 %) – вивіз зерна автотранспор-

том з поля на елеватор, 3 USD (6,8%) – проміжне зберігання зерна, 15 USD (34,1%) – послуги елеваторів зі зберігання зерна, 10 USD (22,7%) – вартість доставки залізницею до порту, 12 USD (27,3%) – вартість навантаження зерна на судно. У разі доставки тонни зерна автомобільним транспортом, вартість перевезення зростає з 10 USD до 41,3 USD [7].

Зниження витрат у системі транспортування зерна на експорт дозволить збільшити його додану вартість та, відповідно, прибутковість аграрних підприємств України і конкурентоспроможність українського зерна на зовнішніх ринках. При цьому варто зазначити, що в останні роки проблеми транспортування зерна, зокрема на експорт, та зниження відповідних витрат є об'єктом дослідження багатьох як вітчизняних, так і закордонних науковців та практиків.

Питанням дослідження та підвищення ефективності транспортної складової у сфері виробництва, зберігання та експорту зерна присвячені наукові праці В. А. Колодійчука [9, 13]. Автор детально аналізує потенціал України та існуючі проблеми як у сфері виробництва зернових культур, так і у сфері його доставки до споживачів, зокрема, на експорт [9]. У роботі, між іншим, акцентується увага на проблемах залізничних перевезень українського зерна, зокрема, через низький рівень маршрутизації перевезень, що спричинює неефективну експлуатацію транспортних засобів. Для вирішення проблем транспортного забезпечення експорту зерна автором розроблено концепцію (модель) ефективного розвитку, яка базується на широкій інформатизації та часово-просторовій синхронізації потоків зерна, а також на моніторингу міжрегіональних балансів зерна [13]. Модель охоплює процес доставки зерна від поля до портового елеватора, а її використання сприятиме оптимізації транспортних потоків зерна і зменшенню відповідних витрат. При цьому основний акцент у роботі зроблено на аналіз та покращення економічних та інформаційних зв'язків між учасниками зернової агрологістичної системи, в той час як питання удосконалення технічних та технологічних аспектів у сфері доставки зерна не розглянуті у достатній мірі.

В [14] наведено критичний аналіз сучасного стану інфраструктури, що

забезпечує експорт українського зерна: елеваторів, транспортної системи, портів; при цьому автор вбачає основні проблеми експорту українського зерна саме в системі транспортування, зокрема у дефіциті, зношеності рухомого складу за-лізниць та неефективному його використанні. У [15] автор зазначає про існуючі суттєві проблеми в організації доставки українського зерна через морські пор-ти, зокрема через недостатню пропускну здатність підходів до портів. В [16] запропоновані пріоритетні напрямки розвитку інфраструктури для забезпечен-ня експорту зернових, серед яких кооперація аграрників та створення коорди-нуючих логістичних центрів; модернізація і сертифікація функціонуючих та нарощування елеваторних потужностей в місцях дислокації виробників зерна; створення інформаційної мережі ринку зерна.

У [17] розглянуто систему транспортування українського зерна на експорт від стадії його виробництва до перевантаження на судна; при цьому автор звертає особливу увагу на існуючі інфраструктурні проблеми цієї системи, в першу чергу, пов'язані зі зберіганням зерна та його перевалкою з одного виду транспорту на інший, а в роботі [18] впровадження сучасних принципів транспортного сервісу розглядається як один з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності транспортно комплексу в агросекторі України.

В Російській Федерації, що є одним з найбільших у світі як виробників зерна (у 2017 р. зібрано рекордні 135 млн. т.), так і його експортерів (у 2017/2018 м. р. експортовано майже 50 млн. т, для порівняння у 2016/2017 м. р. – 36 млн. т.), існують аналогічні проблеми з організацією експорту зерна. Разом з тим існують і певні відмінності. Так, близько 15% експорту російського зерна прямує сухопутними переходами. Для російських залізниць, на відміну від українських, зерно не відноситься до найбільш масових вантажів: у 2019 р. при загальних обсягах перевезення зерна 22 млн. т., його частка скла-ла лише 1,7% в загальному обсязі вантажних перевезень РЖД (в Україні – відповідно 39,8 млн. т. та 15%) [4, 19-21]. Для залучення відправників зерна РЖД у 2017 р. запровадили знижку 10,3% на залізничні перевезення зернових з віддалених від портів регіонів [20]. Однак, через відсутність гнучкого регу-

лювання тарифів на РЖД, яке пропонують автоперевізники, відправники зерна поки що не поспішають переходити на залізницю – наразі частка залізниць в загальному обсязі перевезення зернового експорту Росії складає лише близько 25% (у 2017/2018 м. р. – 12,5 млн. т), а основним перевізником залишається автомобільний транспорт [19, 20].

Грунтовне дослідження проблем розвитку транспортної системи експортних перевезень зерна у Росії виконане у роботі [22]. Однією з проблем експорту зерна у РФ, як і в Україні, є суттєва розпорошеність залізничних станцій його навантаження, яких налічується більше 700. Автор обґрунтовує необхідність створення мережі вузлових елеваторів, здатних відвантажувати на залізницю зернові маршрутні поїзди. Доставка зерна від польових елеваторів до лінійних здійснюється автотранспортом, а від лінійних до вузлових – повагонними відправками. З цією метою пропонується класифікація пунктів відвантаження зерна за певними характеристиками, однак при цьому сама процедура класифікації елеваторів та формування навколо них маршрутно-орієнтованих кластерів здійснюється «вручну», що не виключає певної суб'єктивності отриманих результатів. Окрім того, автором розроблено математичну модель, що дозволяє оцінювати ефективність концентрації навантаження та маршрутизації перевезення зерна. Однак, вказана модель не враховує ряду статей витрат, зокрема капітальних витрат на розвиток вузлових елеваторів, а також не дозволяє оцінювати різні технології організації перевезень, зокрема перевезення за розкладом, перевезення у власних чи інвентарних вагонах тощо.

### **1.3 Ефективність маршрутизації перевезення масових вантажів**

Рівень транспортних витрат під час залізничних перевезень українського зерна у морські порти на експорт безпосередньо пов'язаний з ефективністю системи експлуатації рухомого складу, що використовуються для перевезення зернових вантажів. Характерною рисою залізничних перевезень зерна в



Україні є значна розпорошеність його навантаження на станціях; причому на значній частині станцій середньодобове навантаження становить менше 1 вагона. Наслідком цього є те, що зерно – єдиний масовий вантаж, значна частина якого перевозиться повагонними відправками. При цьому подача вагонів під завантаження і прибирання вагонів з зерном з цих станцій здійснюється збірними або вивізними поїздами, а на шляху прямування до станції вивантаження (порт) вагон з зерном може декілька разів перероблятися на технічних станціях. Така організація призводить до суттєвого збільшення обігу вагонів-зерновозів і, відповідно, до зростання як термінів доставки, так і пов'язаних витрат.

Одним з найбільш ефективних напрямків удосконалення залізничних перевезень вантажів та підвищення ефективності експлуатації рухомого складу є маршрутизація з місць навантаження. Як відомо, маршрутизацією перевезень називається організація перевезень вантажів у маршрутних поїздах, що проходять декілька технічних (дільничних, сортувальних) станцій без переробки. За умовами організації маршрути з місць навантаження розділяють на [28, 29]:

- відправницькі маршрути, що повністю формуються на залізничних коліях незагального користування (далі – під'їзних коліях) відправником вантажу (або власником під'їзної колії) або на коліях загального користування (далі – магістральних) залізничної станції за договором між відправником вантажу та перевізником (залізницею). Відправницький маршрут може включати вагони, оформлені одним маршрутним відправленням або декількома груповими або повагонними відправленнями;

- ступінчаті маршрути, що формуються з вагонів, представлених різними відправниками вантажу на місцях загального та незагального користування, які примикають до однієї залізничної станції (станційний ступінчатий маршрут), одним відправником вантажу (власником під'їзної колії) або різними відправниками вантажу (власниками під'їзних колій) на декількох залізничних станціях ділянки або залізничного вузла (дільничний або вузловий ступінчатий маршрут).

Окремо варто також виділити кільцеві маршрути з постійними складами вагонів, які після вивантаження повертаються у порожньому стані на ту ж станцію (ділянку, вузол) під повторне навантаження.

В даний час середній рівень маршрутизації в Україні становить близько 40...45%. Для порівняння, у Російській федерації – загальний рівень маршрутизації – становить 45...50%, у країнах Європейського Союзу – 50...55%, у США – 60% і більше [30]. Разом з тим для зернових вантажів середній рівень маршрутизації в Україні не перевищує 25...30% (у 2012 р. – тільки 8...10%), у той час як в США майже 95% зернових вантажів перевозиться відправницькими маршрутами [31, 32]. Слід зазначити, що з 2017 р. Укрзалізниця здійснює активну політику щодо підвищення рівня маршрутизації при транспортуванні зерна: так, наприклад, при розподілі порожніх вагонів-зерновозів інвентарного парку, в першу чергу, виконуються замовлення саме на маршрутні відправки. При цьому, якщо середній обіг вагона-зерновоза складає 8...12 діб (в залежності від типу власності), то для вагонів, що рухаються у складі маршрутних поїздів цей показник може бути зменшений до 6...7 діб [31].

Для підвищення експлуатаційних показників рухомого складу, зокрема, при перевезенні зернових вантажів, Укрзалізниця широко використовує технічну маршрутизацію. При реалізації такої технології залізниця формує на одній з сортувальних станцій, що обслуговують морський порт, маршрут порожніх вагонів-зерновозів і доставляє його на технічну станцію, розташовану в районі навантаження. Порожні вагони у складі збірних, дільничних або вивізних поїздів доставляються на сусідні станції навантаження. Після навантаження вагони збираються тими ж поїздами на технічну (сортувальну) станцію в наскрізний поїзд, який прямує для вивантаження в порт без переробки на шляху прямування. Недоліками є необхідність утримання мережі невеликих елеваторів, складність організації контролю якості зерна на них, необхідність використання маневрових тепловозів для обслуговування проміжних станцій, а також значні простоя вагонів на технічних станціях під накопиченням, тобто в очікуванні концентрації повноцінного маршруту [31].

Необхідно також враховувати, що важливою відмінністю умов перевезення зернових в Україні від умов перевезення цих вантажів у США та Російській Фе-дерації є значно менша середня відстань доставки зерна в порти (близько 600 км [7]). Це пов'язано з тим, що значні обсяги виробництва зерна сконцентровані в південних регіонах у безпосередній близькості до морських портів. Цей факт загострює умови конкурентної боротьби між залізничним та автомобільним транс-портом, оскільки для частини відправників більш економічно доцільним будуть прямі перевезення зерна в порти автотранспортом.

Важливим фактором, що впливає на показники експлуатації вагонів-зерновозів, є різні умови оперування вагонами різних форм власності. Так, вартість оренди вагонів парку УЗ (навіть після підвищення тарифів у 2018 р. та 2019 р.) в середньому на 15...20% нижче, ніж у приватних власників, тому користується більшим попитом серед вантажовідправників; при цьому обіг вагонів УЗ на 25...30% менший. Разом з тим, парк вагонів УЗ значно «старіший» за приватні вагони та характеризується великим рівнем зношеності [33].

До ключових проблем залізничних вантажних перевезень в цілому та зернових вантажів, зокрема, необхідно віднести критичну ситуацію, що склалась в останні роки з забезпеченням перевезень тяговими ресурсами. Зношеність пар-ку вантажних електровозів наразі складає 92%, а тепловозів – 99% [33], робо-чий парк локомотивів стабільно зменшується, а темпи оновлення є вкрай низькі [34]. Проблема відсутності справних вантажних локомотивів все частіше спри-чинює суттєві затримку у відправленні сформованих поїздів, що, з однієї сто-рони, погіршує експлуатаційні показники використання рухомого складу, з іншої – збільшує строки доставки вантажів та відповідні транспортні витрати.

В цих умовах доцільним є роздільна експлуатація вагонів різних форм власності, одним з найбільш ефективних напрямків якої є кільцева маршрутизація. Як зазначається в [31], якщо зерновий маршрут складається з нових та технічно справних вагонів, то за добу він може подолати відстань у 700 км, що

дасть змогу скоротити обіг вагона на 2...3 доби. Однак, впровадження відправницької, зокрема, кільцевої маршрутизації призводить до збільшення витрат, пов'язаних з виконанням початкових та кінцевих операцій. Тому доцільність такої технології має бути визначена шляхом техніко-економічних розрахунків.

Враховуючи значну кількість вагонів приватних компаній, що складають значну частку від загального парку, а також перспективи використання приватних локомотивів на магістральних залізничних шляхах, у роботі [48] автором запропоновано удосконалений варіативний підхід до оцінки економічної ефективності маршрутизації перевезень в залежності від форми власності вагонів та локомотивів. З цією метою автор пропонує цілий ряд розрахункових виразів, кожен з яких відповідає конкретним умовам маршрутизації. В роботі [49] оцінку ефективності відправницької маршрутизації пропонується здійснювати у відносно-оперативному режимі з врахуванням цілої низки експлуатаційних показників, серед яких завантаженість станцій та залізничних ділянок, наявність локомотивів і бригад, витрат на накопичення та формування маршрутів, можливості обробки маршрутів на станціях тощо. А у дослідженні [50] запропоновано критерії по встановленню диференційованих залізничних вантажних тарифів з урахуванням особливостей окремих поїздо-дільниць, показників використання рухомого складу та системи організації вагонопотоків. З цією метою розроблена математична модель функціонування системи перевезення масових вантажів маршрутами. Модель дозволяє оптимізувати параметри вантажопотоків, а критерієм оптимальності є сукупні витрати, що припадають на одиницю вантажу. Разом з тим, у запропонованій моделі не врахована диференціація рухомого складу за типом власності, а також особливості відправницької маршрутизації зернових вантажів.

Варто зазначити, що однією з ключових цілей «Стратегії розвитку ПАТ «Укрзалізниця» на період 2017-2021 роки» є, зокрема, підвищення частки залізничного транспорту на ринку вантажних перевезень до 65% (наразі – 58%), а також покращення обігу вагона на 20% та 15% швидкості доставки вантажів на 15%. При цьому одним з напрямків досягнення зазначених показників є підви-

щення рівня маршрутизації вантажних перевезень [33].

#### **1.4. Аналіз перспективного досвіду організації залізничних перевезень зернових вантажів**

Для підвищення ефективності перевезень зернових вантажів, насамперед, на експорт, та зниження рівня відповідних витрат залізничні компанії країн, що є найбільшими виробниками та експортерами зерна (США, Канада, Європейський Союз, Росія тощо), впроваджують різноманітні технології організації перевізного процесу, в першу чергу, на основі відправницької маршрутизації. При цьому економічною основою, що забезпечує привабливість відправницької маршрутизації для клієнтів є, насамперед, гнучка тарифна політика залізниць.

Для стимулювання вантажовласників до організації відправницьких маршрутів в Російській Федерації в 1995 році була введена знижка 10% до тарифу на перевезення вантажів. В даний час в Прейскуранті 10-01 [51] передбачені понижуючі коефіцієнти до вантажного тарифу, диференційовані залежно від відстані перевезень та типу маршруту. Окрім того, у 2010 р. розроблена та уведена у дію «Інструкція з планування, організації та обліку перевезень вантажів відправницькими та ступінчатими маршрутами» [52], в якій регламентований порядок та правила організації відправницької маршрутизації на залізницях РФ.

Однією з проблем зернового експорту у Російській Федерації (як і в Україні) є дефіцит перевантажувальних потужностей на припортових станціях. Можливі напрямки вирішення цієї проблеми розглядаються в роботі [53] на прикладі Північно-Кавказької залізниці та портів Новоросійськ і Туапсе. Авто-ром пропонується оптимізаційний алгоритм розробки графіку підводу вантажів, зокрема зернових, до портів з врахуванням цілого ряду факторів, таких як пере-валочна потужність на припортових станціях, завантаженість підходів до при-портових станцій, моменти підходу суден, тривалості технологічних операцій з вагонами на припортовій станції,

тривалість руху поїздів до портів, пріоритет-ність вантажних відправок тощо. Програмний комплекс, що створений на осно-ві розробленого алгоритму, дозволяє планувати та оцінювати доцільність формування як відправницьких, так і ступінчатих маршрутів для доставки зерна від відправників до портів. Разом з тим, автори не розглядають напрямки вирі-шення проблеми концентрації навантаження зерна на лінійних вантажних стан-ціях, що є необхідною умовою для формування відправницьких маршрутів.

Яскравим прикладом використання гнучкої тарифної політики також є Франція – тут почали застосовувати методику стимулювання відправників до маршрутизації ще в 80-х роках. У той час знижка становила від 6% – при відп-равленні 460 т і більш, за умови перевезення 3000 т і більш знижка становила – 34% [54]. На сьогодні SNCF встановлює контрактні тарифи з урахуванням цьо-го фактора й кон'юнктури на транспортному ринку.

Істотний прогрес у зниженні витрат на транспортування зерна був досягну-тий у США й Канаді наприкінці 20-го – початку 21 століття; в цих країнах завдя-ки цілому ряду заходів в галузі залізничних перевезень та змін в законодавстві вдалося знизити частку транспортної складової у вартості зерна до 10% [11].

До процесу реформування система перевезення зерна північноамерикансь-кими залізницями передбачала переважно повагонні відправлення [55]. Зміни у технології перевезення зерна в США почалися в 1972...1973 роках у відповідь на різке збільшення попиту на зерно на світовому ринку. Щоб витримувати конкуренцію з боку автомобільного та річкового транспорту, залізничні компанії поча-ли стимулювати вантажовідправників до збільшення кількості вагонів у партіях за рахунок диференціації тарифів для вагонних, групових та маршрутних відпра-вок. При цьому вантажовідправники стали істотно збільшувати навантажувальні потужності елеваторів до 100 вагонів на добу; це призвело до зміни кількості, єм-ності й розміщення елеваторів по території країни, удосконалення технологій пе-ревозення зерна залізницями та їх тарифних систем [56, 57].

Кінець 1970-х – початок 1980-х років став періодом економічного дерегулювання залізничного транспорту. Конгресом США був прийнятий ряд документів, найважливішими з яких були: «Закон про відродження залізниць та реформу регулювання» (1976 р.) [58] та «Акт Стаггера про залізничний транспорт» (1980 р.) [59]. Зазначені закони значно спростили залізницям процедуру закриття малодіяльних ділянок, а також дали значну свободу у формуванні тарифної політики. У результаті були закриті малодіяльні ділянки, що склали близько 20% мережі, додатково значну кількість малодіяльних ділянок було перетворено на залізницю, незалежні від залізниць 1-го класу [60].

Тарифна політика залізниць також зазнала істотних змін. Залізниці перейшли від тарифікації перевезень пропорційно маси вантажу до тарифікації в залежності від типу відправки – вагонна відправка (single-car rate), групова (multiple-car rates), відправницький маршрут (unit train), ступінчатий маршрут (multiple origin unit train rates), – стимулюючи відправників вантажу, з одного боку, до максимального завантаження вагонів, а з іншого, до концентрації зернових вантажо-потоків. В 1990-х залізниця Burlington Northern (BNSF з 1996 р.) запровадила технологію перевезення зерна човниковими поїздами (shuttle train) [61]. Зазначена технологія передбачає використання спеціального тарифу, який нижче, ніж для перевезення зерна повагонними відправками на 46...52%. При цьому відправник вантажу повинен бути здатним забезпечити навантаження поїзда з 75...120 вагонів протягом обмеженого часу (близько 15 годин) [32]. Зернові човникові поїзди рухаються між пунктами навантаження та вивантаження за твердим розкладом відповідно до контракту на 6...9 місяців, без переформування та відчеплення поїзних локомотивів [62]. За оцінкою американських фахівців перевезення зернових за технологією «shuttle-train», забезпечує економію витрат на використання інфраструктури та вагонів до 2 раз і до 75% витрат на локомотивну тягу [63].

Інфраструктурну основу для маршрутизації вагонопотоків зерновими вантажами в США надає система вузлових елеваторів, які концентрують

вантажопо-токи для забезпечення можливості навантаження зернового маршруту протягом доби. Підвіз зерна у вузлові елеватори з лінійних здійснюється як залізничним, так і автомобільним транспортом. Загальна кількість елеваторів зменшилась за рахунок значного скорочення числа лінійних елеваторів (country elevators); при цьому відбулося укрупнення та зростання кількості вузлових елеваторів (terminal elevators), що забезпечують відвантаження зерна на залізничний транспорт парті-ями, достатніми для формування маршрутів [56, 64]. Середня відстань доставки фермерами зерна на елеватори зросла з 19 до 52 км [61].



## **2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНА**

### **2.1. Постановка завдань дослідження та визначення методів їх розв'язання**

За останнє десятиріччя Україна впевнено посіла лідируючі позиції серед найбільших світових експортерів зерна. Перспективні плани розвитку українсь-кого аграрного сектору передбачають протягом найближчих 5 років зростання обсягів експорту зернових до рівня 60...70 млн. т. на рік. При цьому на перший план виступає проблема не виробництва такого обсягу зерна, а його транспор-тування на експорт через українські порти.

Основним перевізником зерна на експорт наразі є залізничний транспорт, що здійснює близько 70% обсягів відповідних перевезень. Однак, як показує аналіз, в системі організації залізничних перевезень зернових існують суттєві проблеми, пов'язані, зокрема, з неефективною експлуатацією рухомого складу. Так, зокрема, основна частина зерна транспортується повагонними відправками, що суттєво збільшує обіг вагонів та строки доставки зернових вантажів, спричинює додаткову переробку вагонів на технічних станціях та, відповідно, призводить до зростання транспортних витрат і кінцевої вартості зерна на світових ринках. Тому підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів на експорт за рахунок удосконалення технології експлуатації рухомого складу є актуальним завданням.

На підставі виконаного аналізу наукових праць сформульована мета дослідження, що полягає у підвищенні ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти за рахунок впровадження відправницької маршрутизації вагонопотоків.

Залізничні перевезення зернових вантажів на експорт представляють собою складний процес, учасниками якого є виробники зерна, зернотрейдери, польові, лінійні та портові елеватори, залізничні станції та ділянки, припортові станції, порти тощо, які поєднані між собою безліччю взаємозв'язків фізичного, технологічного, інформаційного та економічного характеру, що

постійно змі-нюються у часі. Варто зазначити, що перевезення зернових вантажів характери-зується сезонними коливаннями обсягів, що також необхідно враховувати під час дослідження. Таким, чином система залізничних перевезень зерна на экс-порт розглядається як складна, динамічна, стохастична, багатофазна та багато-канальна СМО, дослідження функціонування якої необхідно здійснювати з використанням системного підходу. Одним з основних принципів системного аналізу є принцип ієрархічного дослідження системи (рис. 2.1).

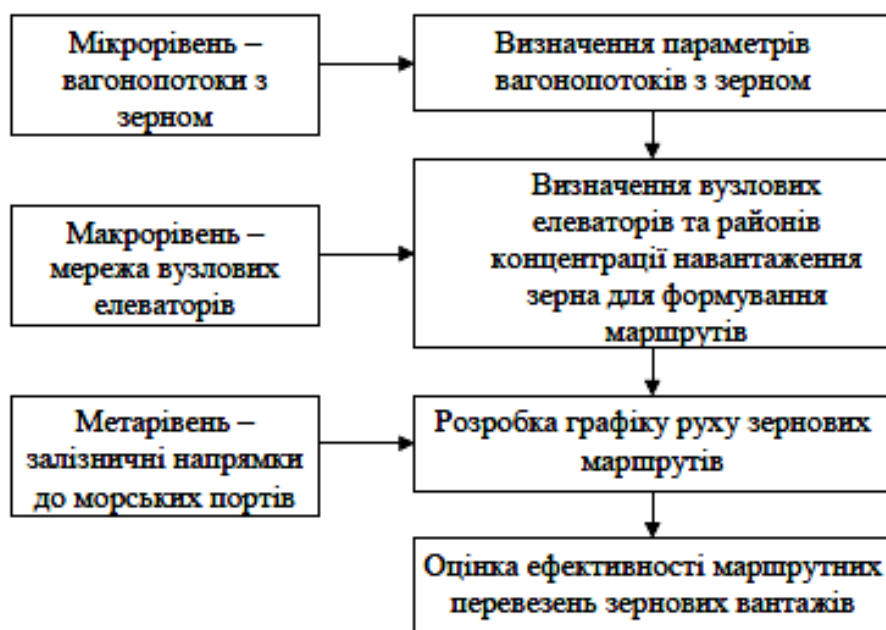


Рис.2.1. Ієрархічна структура системи залізничних перевезень зерна

На макрорівні об'єктами дослідження є вантажо- та вагонопотоки з зерном, що відправляються на експорт. Задачею дослідження на цьому рівні є встановлення параметрів вагонопотоків з зерном, аналіз обсягів роботи станцій з навантаження зерна, визначення експлуатаційних показників роботи рухомого складу. Для вирішення цих задач застосовуються методи реляційної алгебри та математичної статистики. На макрорівні основною задачею дослідження є формування експортно-орієнтованої мережі вузлових елеваторів та відповідних їм районів концентрації навантаження зернових для

формування маршрутних поїздів. Пошук рішень здійснюється на основі методів кластерного аналізу, теорії множин та багатокритеріальної оптимізації. На метарівні досліджується ефективність відправницької маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів, зокрема при різних варіантах організації руху зернових маршрутів та вплив показники експлуатації рухомого складу. Для отримання рішень на цьому рівні використані економіко-математичне моделювання та регресійний аналіз, імітаційне моделювання та теорія організації експлуатаційної роботи залізниць.

Зовнішнім середовищем для системи залізничних перевезень зерна є, з одного боку, система його виробництва, з іншого – діюча система вантажних перевезень, в першу чергу, залізничних та автомобільних. Вхідним потоком є вантажопотік зерна, що прямує від лінійних елеваторів у порти на експорт, а вихідним потоком є вагонопотоки з зерном, що прямують у складі зернових маршрутів або повагонними відправками. Загальна характеристики системи залізничних перевезень зернових вантажів не експорт наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Характеристика системи залізничних перевезень зерна

<b>Класифікаційна ознака</b>	<b>Клас системи</b>
Природа елементів	Реальна
Походження	Штучна
Мінливість властивостей	Динамічна
Передбачуваність станів	Стохастична
Характер поведінки	З управлінням
Ступінь складності	Складна
Ступінь зв'язку з зовнішнім середовищем	Відкрита
Ступінь участі людини у реалізації керуючих впливів	Ергатична

Досягнення мети дослідження здійснюється за рахунок використання системного аналізу при формуванні завдань дослідження та при виборі методів їх вирішення. Структуру завдань і використаних для їх розв'язання методів дослідження наведено на рис. 2.2.



Рис.2.2. Завдання дослідження та методи їх розв'язання

Система, яка забезпечує експорт зерна через морські порти включає: систему зберігання, систему перевалки зерна в портах і систему транспортування зерна до портів [68]. Виконаємо аналіз кожної з цих складових та оцінку їх відповідності існуючим та перспективним обсягам експорту зерна.

## 2.2 Сучасний стан системи зберігання зерна

Система зберігання зерна в Україні представлена зерноскладами сільгоспвиробників, лінійними і перевалочними, заготівельними і комерційними еле-

ваторами, термінальними ємностями та елеваторами переробних підприємств. За оцінками українського сайту Elevatorist.com, що спеціалізується на аналітиці елеваторної інфраструктури, в даний час в Україні близько 1200 зерносклади різного типу і потужності зберігання [25]. Однак більша частина зернових складів побудована ще за часів СРСР і, відповідно, має значний рівень зносу, як інфраструктури зберігання, так і технологічного обладнання. Це призводить, з одного боку, до істотних втрат зерна при його зберіганні, з іншого – до збільшення вартості українського зерна на зовнішніх ринках [69].

За способом зберігання зерносклади можна розділити на склади відкритого і закритого типу. Основним типом критих зерносклади є елеватори. Технологічний процес роботи елеватора включає наступні основні операції: приймання зерна; зважування; аналіз якості зерна; сушка; очищення; зберігання; відвантаження на залізничний, автомобільний чи водний транспорт.

По конструкції приміщень для зберігання елеватори можуть бути підлогового і силосного типу; за технологічним оснащенням – немеханізовані і механізовані, а також механізовані з частковою автоматизацією процесів; за типом матеріалу силосів – бетонні і металеві. За потужністю одноразового зберігання – малі (до 10 тис. т.), середні (10...50 тис. т.), великі (понад 50 тис. т.). За призначенням елеватори поділяють на: зерносклади сільгоспвиробників (фермерські), комерційні, лінійні (стаціонарні); портові (перевалочні термінали), промислово-виробничі та елеватори держрезерву [70].

З 2004 р. Законом України «Про зерно та ринок зерна» була введена обов'язкова сертифікація зерносклади і регламентована їхня робота [71]. Однак у 2014 р. обов'язкова сертифікація зернових складів була скасована. Разом з тим в даний час елеватори в Україні часто поділяють також на сертифіковані склади та несертифіковані (склади в умовах виробників) – так, наразі, близько 70% елеваторних потужностей в Україні є сертифікованими, причому майже 90% сертифікованих елеваторів є у приватній власності [68].

У 1991 р. в Україні налічувалося близько 545 елеваторів і хлібоприймальних пунктів, загальним обсягом одноразового зберігання зерна близько 30 млн.

т. із середнім рівнем зносу елеваторного обладнання 50% [69].

До середини 2000-х р.р. великий і середній бізнес виявляв незначний інтерес як до зернової галузі в цілому, так і до модернізації і будівництва елеваторної інфраструктури. Це пояснюється, з одного боку загальною кризою в економіці України в 1990-ті р.р., з іншого – порівняно низьким рівнем як виробництва, так і експорту зернових. Так, в період 1991...2000 р.р. середньорічний обсяг виробництва зерна склав 32,8 млн. т. (мінімум у 2000 р. – 24,4 млн. т.), а середньорічний обсяг експорту – 1...2 млн. т (мінімум в сезоні 1992/1993 – 0,25 млн. т.) [4, 72, 73].

За останнє десятиліття істотно зросло як виробництво зерна, так і його експорт. Відповідно зросла і інвестиційна привабливість зернового бізнесу, що дало поштовх як для будівництва нових сучасних елеваторів, так і для модернізації існуючих. Так, за цей період кількість елеваторів збільшилася вдвічі, а їх сумарна потужність одночасного зберігання зросла в 1,5 рази: в даний час в Україні функціонує більше 1200 елеваторів різного типу і призначення загальною потужністю 48 млн. т. [25]. При цьому, якщо частка України в загальносвітовому виробництві зернових становить близько 3%, то загальна потужність українських елеваторів становить близько 1,7% від загальносвітового обсягу зберігання (2,9 млрд. т.) [764]. Варто зазначити, що зернові компанії щороку інвестують значні кошти у будівництво нових та розширення і модернізацію існуючих потужностей для зберігання зерна та мають перспективні плани щодо збільшення як лінійних, так і портових зерноскладів [75-77]. Темпи ж введення нових елеваторних потужностей в останні роки складають 1...1,5 млн. т. на рік (рис. 2.3) [4].

Близько 35% ємності зберігання зерна наразі забезпечують зерносклади підлогового зберігання з низьким рівнем механізації і автоматизації [68, 69]. Крім того, близько 75% елеваторів потребують модернізації. Вартість же модернізації, за оцінками експертів, становить близько 50 USD за 1 т зберігання, а будівництво нового сучасного елеватора обходиться 150...200 USD за 1 т (з урахуванням побудови транспортної інфраструктури – 250...300 USD) [78].

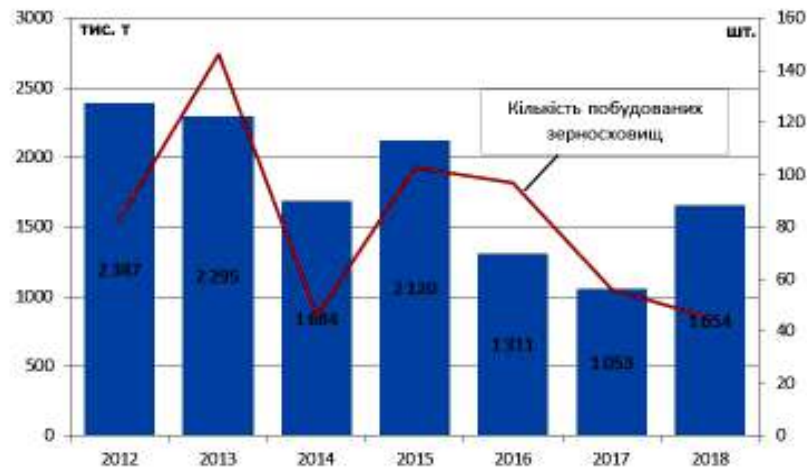


Рис.2.3. Динаміка введення нових потужностей для зберігання зерна

По регіонах України елеваторні потужності розташовані нерівномірно (табл. 2.2) [4, 25]. Найбільшу загальну ємність одноразового зберігання мають зерносховища, розташовані в Одеській (4,7 млн. т.), Полтавській (4,6 млн. т.), Миколаївській (3,7 млн. т.), Кіровоградській (3,5 млн. т.) та Вінницькій (3,3 млн. т.) областях. У цих же областях сконцентровано і найбільша кількість елеваторів. Що стосується технічного та технологічного оснащення зерносховищ аграріїв, то, в першу чергу, найбільш технологічними є склади великих аграрних компаній та підприємств (з земельним банком більше 3000 га). Разом з тим, більше половини виробників малого сегменту також мають на своїх зерносховищах весь необхідний комплекс спеціалізованого обладнання (рис. 2.4) [77].

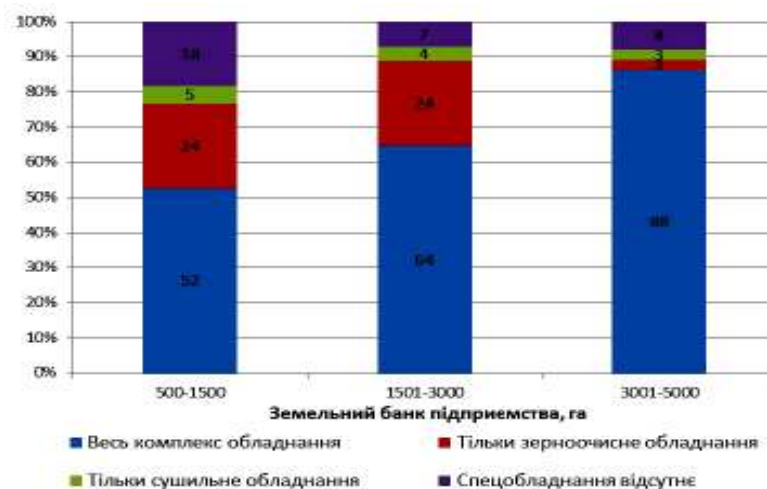


Рис.2.4. Наявність спец обладнання на зерносховищах виробників зерна

Вартість послуг лінійного елеватора по обробці тієї чи іншої партії зерна в значній мірі залежить від її якості і, відповідно, необхідності сушіння і очищення зерна [79]. Так, загальна вартість обробки партії зерна масою 70 т з відвантаженням в вагон і терміном зберігання 30 діб без сушіння та очищення становить 11,3 тис. грн., а з сушінням (на 5%) і очищенням (на 3%) – 31,5 тис. грн. Структура витрат на послуги елеватора при зберіганні на відвантаженні 70 т зерна наведена на рис. 2.5.

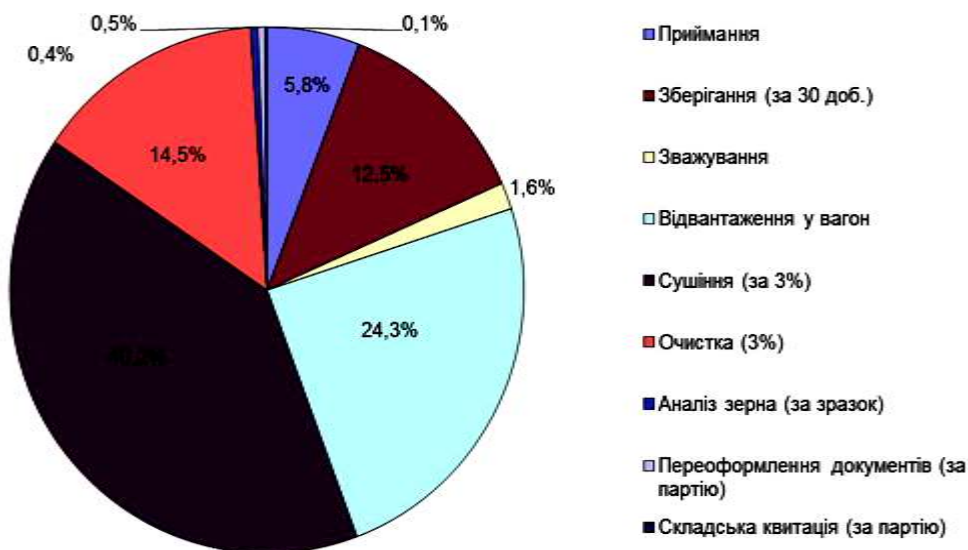


Рис.2.5. Структура витрат на послуги елеватора

Найбільш витратна операція при обробці зерна – сушка (до 50%); вартість цієї операції безпосередньо залежить від вартості газу. Середня ж вартість обробки зерна на лінійних елеваторах коливається в основному в межах 8...15 USD/т.

В цілому ж наявна елеваторна інфраструктура аграріїв забезпечує існуючі обсяги виробництва українського зерна, а динаміка розвитку потужностей лінійних елеваторів, дає підстави позитивно оцінювати можливості по освоєнню і перспективних обсягів.

### 2.3 Аналіз системи перевалки зерна в морських портах

Близько 95% українського експорту зернових відвантажується через



морські порти. У 2019 р. сумарний обсяг перевалки зерна в українських портах склав 53,8 млн. т., що становить близько 33% від загального обсягу перевалки всіх вантажів в портах (160 млн. т.) [4, 26]. Варто зазначити, що обсяги перевалки зерно-вих в українських портах демонструють стійку тенденцію до зростання, в т.ч. зростає також і частка зернових вантажів у загальних обсягах переробки вантажів у морських портах – з 6% у 2007 р. до 33% у 2019 р. (рис. 2.6) [4, 26, 80].

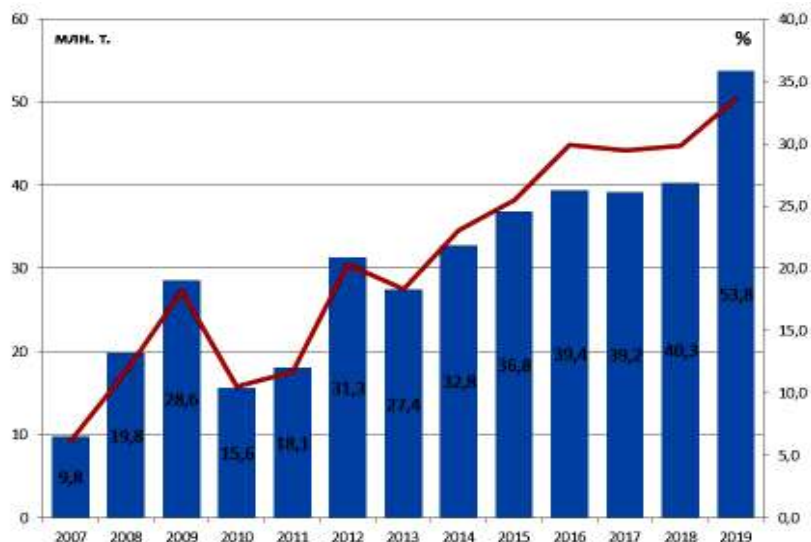


Рис.2.6. Обсяги перевалки зернових вантажів в морських портах України у 2007-2019 р.р.

У 2018 р. наявна потужність українських портових терміналів з перевалки зерна склала 66 млн. т/рік, а у 2019 р. – за деякими оцінками досягли рівня 85 млн. т./рік, додатково також забезпечується перевантаження до 12,5 млн. т. за прямим варіантом [27, 81]. В Україні перевалка експортних і транзитних зерно-вих вантажів йде в акваторіях 13 морських торговельних портів: Бердянський, Білгород-Дністровський, Ізмаїльський, Чорноморський, Маріупольський, Ми-колаївський, Одеський, Ренійський, Скадовський, Південний, Херсонський, Усть-Дунайський, порт Ольвія. З цих портів 10 розташовані на Чорному морі, 2 порти – на Азовському морі. У 2014 році в зв'язку з анексією Криму Україна втратила близько 10% портових потужностей, що забезпечували експорт зерно-вих. Однак, порти Криму

використовувалися переважно для перевантаження зерна з довколишніх районів, а також зерна в періоди вичерпання пропускної спроможності залізниць у напрямку портів Одеси [68].

У 2019 р. найбільші обсяги перевалки зерна було зафіксовано у Миколаївському морському порту (16,2 млн. т.), Чорноморському (12,7 млн. т.), Південному (11,0 млн. т.), Одеському (8,9 млн. т.).

## **2.4 Проблеми системи транспортування зернових вантажів**

Система транспортування зерна на експорт представлена в Україні залізничним, автомобільним та річковим транспортом,

Перевезення зерна автомобільним транспортом. Одним з ключових елементів у системі транспортування українського зерна, особливо на внутрішньому ринку, є автомобільний транспорт. Близько 30% всього експортного зерна доставляється в порти автомобілями-зерновозами. Мережа автомобільних доріг України є досить розгалуженою, а їх загальна експлуатаційна довжина складає 160 тис. км [4]. На сьогоднішній день ринок автотранспортних послуг представлений більш ніж 130 тис. перевізників, які використовують понад 400 тис. транспортних засобів. Зокрема, близько 62 тис. перевізників здійснюють вантажні перевезення, використовуючи для цього близько 220 тис. вантажних ав-томобілів. У 2019 р. автотранспортні підприємства перевезли 19,1 млн. т. зерна, що складає близько 10% від загальних обсягів автоперевезень (190 млн. т). Варто зазначити, що обсяги автомобільних перевезень зернових вантажів в останні роки демонструють тенденцію до зростання (рис. 2.7) [4].

В першу чергу, зросли обсяги автоперевезень зерна у напрямку портів Миколаєва та Одеси, зокрема і через переорієнтацію частини вантажопотоку з залізниця на автомагістралі. Серед причин такої ситуації – дефіцит локомотивної тяги та неритмічність подачі вагонів під завантаження. У 2018 р. найбільшим попитом користувались міжрегіональні автоперевезення

кукурудзи на відстань від 330...470 км за середньою ставкою 660...840 грн/т з Полтавської і Черкаської областей в морські порти Миколаєва для подальшої відправки на експорт. При перевезенні зерна на короткі відстані, що характерно для Миколаївської, Херсонської та Одеської областей, тариф у 2018 р. склав 5,9...6,7 грн/т-км (до 50 км) та 4...4,3 грн/т-км (до 100 км), на більш довгих (міжобласних) маршрутах тариф на перевезення зерна коливається в межах 1,2...1,8 грн/т-км [85].

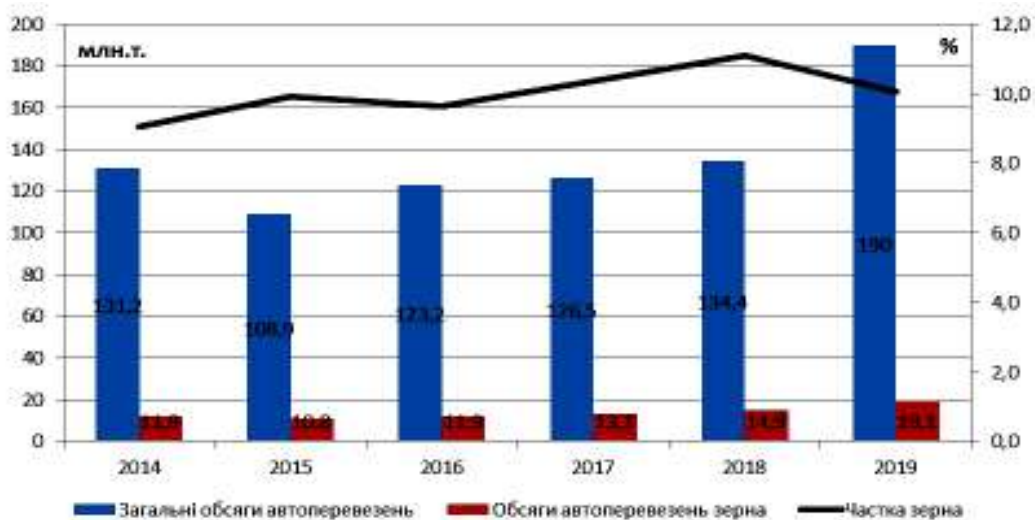


Рис.2.7. Обсяги автоперевезень зернових вантажів

Серед переваг автомобільних перевезень: можливість доставки «від дверей до дверей», гнучка тарифна політика, зокрема, через велику конкурентність на ринку автоперевезень, можливість відвантаження невеликими партіями, можливість виконання вантажних робіт практично на будь-якому зерносховищі, короткі терміни доставки, спрощені процедури оформлення перевезення тощо.

Разом з тим можна виділити і такі проблеми автоперевезень зерна:

- постійно зростаючі ціни на паливо зумовлюють зростання тарифів на перевезення, варто також зазначити, що близько 80% нафтопродуктів для виробництва палива Україна імпортує;

- низька якість автомобільних доріг, особливо на регіональному рівні, призводить до збільшення амортизаційних відрахувань і витрат ресурсів і часу

на ремонт автотранспорту;

- низька пропускна здатність припортових автомобільних доріг;
- заборона на пропуск по автодорогах України автотранспорту масою понад 24 т., а рух перевантажених зерновозів (попри діючу заборону) суттєво пошкоджує автодороги, особливо у напрямку портів;
- забруднення атмосфери шкідливими викидами продуктів згорання палива.

Для автомобільного транспорту немає альтернативи при транспортуванні зерна з поля на елеватори та при перевезенні на короткі відстані. У той же час, автотранспортні перевезення втрачають свою конкурентність при необхідності доставки зерна на великі відстані (понад 250 км), так як в цьому випадку питомі витрати на доставку 1 т продукції значно збільшуються.

## 2.5 Дослідження вагопотоків з зерновими вантажами

Для оцінки заходів, спрямованих на удосконалення залізничних перевезень українського зерна в морські порти на експорт, необхідно визначити параметри вагопотоків з зерном при організації перевезень повагонними відправками.

За період 2002...2019 р.р. найбільша нерівномірність перевезення зерна протягом року спостерігалася в 2006 р., коли коефіцієнт нерівномірності становив 1,96; найменша – у 2019 р. коли нерівномірність становила 1,18 (рис. 2.8).

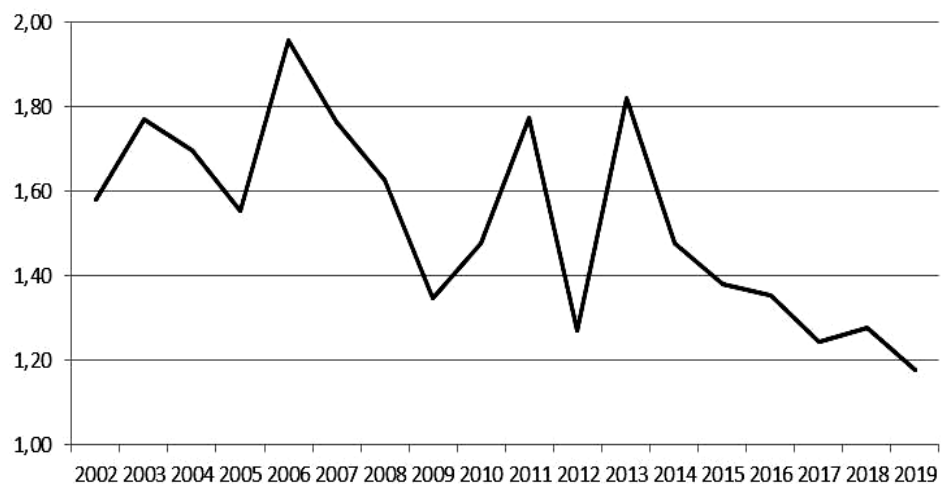


Рис.2.8. Динаміка зміни коефіцієнту сезонної нерівномірності обсягів залізничних перевезень зернових вантажів

Як видно з рис. 2.8, в останні роки сезонна нерівномірність демонструє тенденцію до зменшення, що пов'язано зі збільшенням обсягів залізничних перевезень зерна і з більш рівномірним їх виконанням протягом року. Для прикладу, на рис. 2.9 наведено графік зміни обсягів перевезення зерна залізницями України у 2019 р. (коефіцієнт сезонної нерівномірності 1,18) та у 2013 р. (1,82).

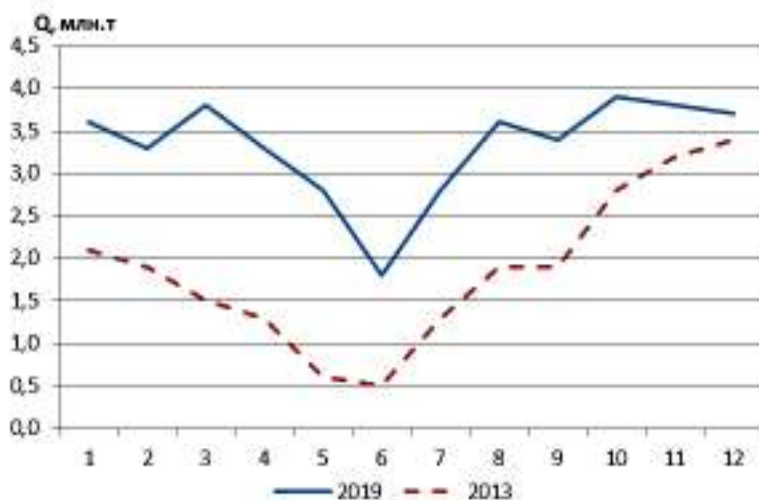


Рис.2.9. Місячні обсяги залізничних перевезень зерна

Як показали дослідження вагонопотоків з зерном, добова нерівномірність навантаження зерна коливається в межах 1,15 (у листопаді) – 1,94 (у червні), що пов'язано відповідно із зростанням та зменшенням обсягів перевезень (рис. 2.10).

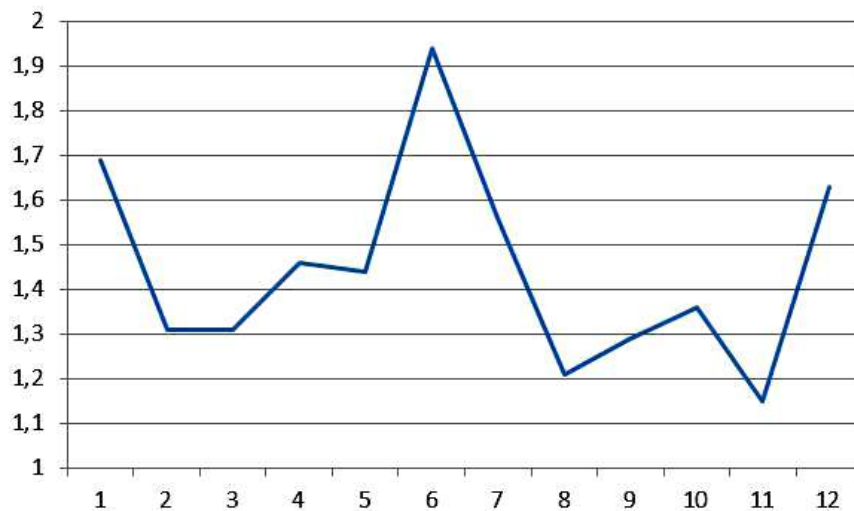


Рис.2.10. Динаміка зміни коефіцієнту добової нерівномірності обсягів залізничних перевезень зернових вантажів по місяцям 2016 р.

Навантаження зерна здійснюється практично по всій території країни. При цьому вітчизняна залізнична мережа характеризується розпиленням навантаження зерна по великій кількості залізничних станцій. Так, у 2016 р. навантаження зерна здійснювали 572 станцій (у 2018 р. – 528). На основі статистичної обробки даних про обсяги роботи станцій побудована гістограма розподілу середньодобових обсягів навантаження (рис. 2.11).

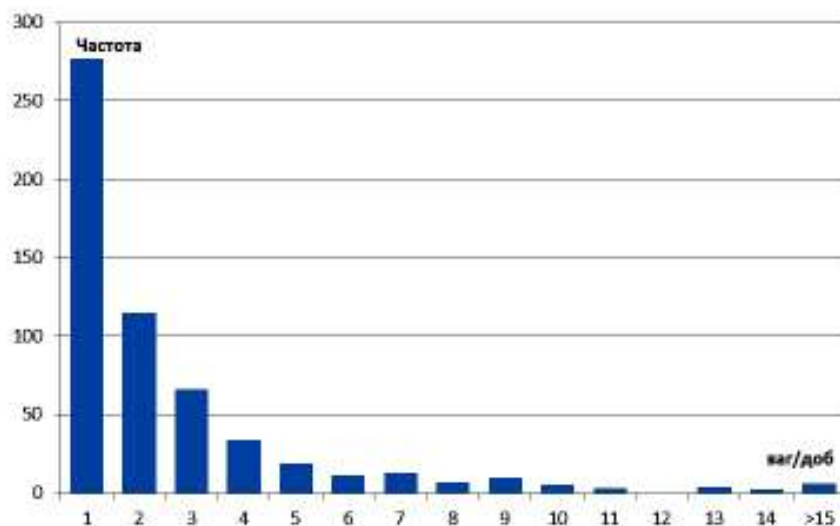


Рис.2.11. Гістограма середньодобової кількості вагонів, що навантажені на станціях

Очевидно, що статистичні дані про обсяги добового навантаження зерна по окремим станціям по суті представляють собою часові ряди. При аналізі і

прогнозуванні поведінки часових рядів важливо виявити наявність або відсутність стійких тенденцій (трендів) або циклічності в їхньому розвитку, на підставі чого можна приймати рішення про застосування того чи іншого методу прогнозування. Однією з важливих властивостей часових рядів є персистентність, тобто схильність ряду слідувати певним трендам до збільшення або зменшення значень. При цьому прогнозування такого ряду може бути виконано за допомогою методів авторегресійного аналізу по знайденому функціоналу тренда. Прогнозування антиперсистентних часових рядів виконується з використанням методів математичної статистики і теорії ймовірностей.

Персистентність часового ряду можна визначити за допомогою показника Херста  $H$ , який розраховується на основі методів  $RS$ -аналізу. При цьому значення показника Херста в межах  $0 \leq H < 0,5$  свідчить про те, що часовий ряд є антиперсистентним (нестійким); значення в межах  $0,5 < H \leq 1$  свідчить про пер-

систентність (трендостійкість) ряду; при  $H = 0,5$  часовий ряд абсолютно випадковий і відповідає звичайному білому гаусівському шуму [120].

На основі методів *RS*-аналізу для часових рядів, що характеризують обсяги навантаження по ряду основних зернових станцій, встановлено, що відповідні показники Херста знаходяться в межах 0,18 (Прилуки) до 0,32 (Торопилівка).

По станціям, що характеризуються відносно невеликими обсягами навантаження зерна відповідні коефіцієнти Херста знаходяться в межах 0,35...0,45. Таким чином, часові ряди зміни обсягів навантаження зерна на станціях є антиперсистентними. Персистентні ряди характерні, в першу чергу, для станцій, які стабільно нарощують або знижують обсяги навантаження вантажів.

Аналіз обсягів навантаження по декадним періодам показав, що їм також властива антиперсистентність, однак коефіцієнти Херста при цьому ближчі до нуля. Це свідчить, що після зниження обсягів навантаження в попередній декаді в наступній декаді з великою ймовірністю слід очікувати збільшення обсягів, тобто про стійкість коливань обсягів навантаження [121].

З огляду на випадковий характер навантаження зерна для прогнозування обсягів доцільно встановити закони розподілу випадкової величини добового навантаження. Дослідження показують, що розподіл добових коливань вагонопотоків практично у всьому діапазоні коливання навантажень може описуватися нормальним законом розподілу. З врахуванням нормального розподілу можна визначати розрахункові обсяги навантаження  $N_p$  на певний період; при цьому доцільно використовувати обернену функцію Лапласа, яка дозволяє отримати значення  $N_p$ , яке не буде перевищене з ймовірністю  $P$  (у технічних розрахунках зазвичай 0,95) [122]:



### **3. МАРШРУТИЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ**

#### **3.1 Проблеми організації залізничних перевезень відправницькими маршрутами**

Як вже зазначалось, однією з основних проблем при перевезеннях зерна на експорт залізничним транспортом є значна розпорошеність елеваторів та відповідно місць навантаження зерна; при цьому, як показали дослідження (див. п. 2.5), середньодобові обсяги навантаження на переважній кількості вантажних станцій фактично становлять менше 1 вагона. При цьому Укрзалізниця змушена або відмовлятися роботи з такими станціями, або використовувати повагонну технологію перевезень. У першому випадку це призводить до закриття вантажних станцій і до переходу значної частини відправників зерна на інші види транспорту, в першу чергу, на автотранспорт; у другому – до зниження показників експлуатації рухомого складу, збільшення строків доставки тощо. Так, як показав аналіз, виконаний експертами Центру транспортних стратегій у 2018 р., при повагонній відправці середньодобовий пробіг зерновоза склав 85,1 км, тобто у 2,3 рази менше за нормативну 200 км/доб [117].

Необхідно відзначити, що способи організації залізничних перевезень висувають об'єктивні вимоги до структури залізничної мережі [38]. Так, якщо відправлення вантажів на мережі здійснюється переважно вагонними відправками, то це вимагає розвитку технічного оснащення магістральних технічних станцій на мережі з метою оптимальної організації вагонопотоків. При цьому за рахунок концентрації управління пропускнуою спроможністю інфраструктури, парком локомотивів і вагонів можна досягти значного зниження середньої собівартості перевезення вантажів на мережі. Однак забезпечити інтерес приватних інвесторів до фінансування галузі при такій моделі досить важко так, як вплинути на собівартість перевезення для окремого вантажовідправника досить складно. Альтернативний варіант

представляють залізничні мережі, орієнтовані на обертання відправницьких маршрутів. У цьому випадку за рахунок концентрації технічних операцій на термінальних вантажних пунктах істотно спрощуються вимоги до оснащення залізничної мережі загального користування. З огляду на те, що зародження і погашення вантажопотоків переважно відбувається на коліях незагального користування, то при розвитку відправницької маршрутизації власники підприємств потенційно мають стимули до розвитку інфраструктури і маневрових засобів під'їзних колій з метою зниження собівартості перевезень.

Відповідно до «Правил обчислення термінів доставки вантажів» швидкість доставки вантажів маршрутними відправками складає 320 км на добу, а повагонними – 200 км на добу; розрахований термін доставки збільшується на 1 добу на операції, пов'язані з прийомом і відправленням вантажів [29]. Для відправника зерна у випадку маршрутної відправки зменшується не тільки нормативний термін доставки, а й плата за користування вагонами-зерновозами Укрзалізниці, яка на початку 2019 р. складала 1363 грн. за добу [124].

Як зазначалось, Укрзалізниця з 2018 р. активно впроваджує маршрутизацію перевезень, зокрема, і зернових вантажів, забезпечуючи, в першу чергу вагонами та локомотивами маршрутні відправлення. При цьому інші (не маршрутні) відправлення зерна затримуються на тривалій час в очікуванні подачі та прибирання вагонів. Більше того, для таких не маршрутних (малодіяльних) станцій у 2019 р. введено додаткову плату за подачу та прибирання вагонів – близько 220 грн. за 1 км за вагон, що також спонукає відправників зерна до переходу на інші види транспорту. Разом з тим, кількість станцій, відкритих для маршрутних відправлень збільшено до 154, хоча за потенційними обсягами відправницькі маршрути можуть формувати 65...70 станцій [113, 125].

Окрім того, маршрутизацією охоплюється переважно завантажені вагонопотоки, а порожні прямують після вивантаження повагонними відправками (маршрутизовано близько 9% порожніх вагонопотоків [30]), що збільшує обіг

вагону, та відповідно знижує ефективність експлуатації рухомого складу. Кільцеві маршрути в основному організовуються із вагонів приватного парку, причому в останні роки зросла кількість компаній, що мають у власності парк вагонів, достатній для організації кільцевих маршрутів [99].

Варто зазначити, що організація перевезень відправницькими, зокрема, кільцевими маршрутами може потребувати додаткових інвестицій у розвиток відповідної інфраструктури, зокрема, колійної, у пунктах навантаження та вивантаження [39]. Так, за оцінками експертів інвестиції у модернізацію елеватора для виконання маршрутних відправок становлять близько 0,4...0,6 млн. USD при терміні окупності 3...5 років; при цьому 70% витрат припадає на розвиток залізничної інфраструктури [126]. Окрім того, можуть виникати додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з накопиченням маршрутного поїзда, як завантаженого, так і порожнього. Питання ж компенсації додаткових витрат вантажовідправнику у випадку організації ним маршрутних перевезень, наразі вирішує сам вантажовідправник за рахунок зменшення власних доходів або збільшення вартості вантажу. Разом з тим, для компенсації додаткових витрат вантажовідправникам, пов'язаних з формуванням відправницьких маршрутів, залізниці різних країн вводять диференціацію вантажних тарифів, або встановлюють знижки до тарифів.

### **3.2. Імітаційне моделювання перевезення зернових вантажів залізничним транспортом**

Як зазначалось, одним з найбільш ефективних методів удосконалення організації вагонопотоків з зерновими вантажами є маршрутизація. При цьому може використовуватись як відправницька маршрутизація, коли зернові маршрути формуються на одній станції, так і ступінчата, коли на кількох елеваторах виконується узгоджене навантаження вагонів, а на вузловій (технічній) станції формується наскрізний потяг, який прямує в порт. Досить перспективним методом також є організація руху маршрутних поїздів за розкладом між

спеціалізованими елеваторами, орієнтованими на накопичення експортних партій зерна, та портами, що здійснюють перевалку зерна у судна на експорт [138, 139].

У зв'язку з цим було поставлено завдання – оцінити ефективність різних варіантів організації вагонопотоків з зерновими вантажами, що прямують у морські порти на експорт. Необхідно відзначити, що умови обігу вагонів при перевезенні зерна характеризуються впливом значної кількості випадкових факторів. У зв'язку з цим показники експлуатації рухомого складу і показники ефективності системи транспортування зерна також будуть випадковими величинами. З огляду на стохастичний характер роботи оцінка ефективності різних варіантів технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти (вагонні відправки, відправницькі та ступінчаті маршрути, організація руху зернових поїздів за розкладом) була виконана за допомогою удосконаленої імітаційної моделі залізничного напрямку [140, 141].

Структура імітаційної моделі. При побудові функціональної моделі ланцюг поставки зерна від елеваторів до портів розглядається як замкнута транспортна система. Об'єктом обслуговування при цьому є вагони, з якими в процесі їх обігу виконуються певні технологічні операції. У моделі кожен вагон описується структурою:

$$v = \{i_v, P, t_n, t_k, i_s\}$$

де  $i_v$  – ідентифікатор вагона;

$P$  – вектор параметрів вагону;

$t_n, t_k$  – відповідно, момент початку і закінчення виконання поточної технологічної операції;

$i_s$  – ідентифікатор состава.

Вектор параметрів  $P_v$  містить інформацію про тип вагону  $k$ , масу вантажу  $m$ , станцію відправлення  $S_B$  та призначення  $S_n$  тощо:

$$P_v = \{k, m, S_B, S_n, U\}$$

Для можливості дослідження різних варіантів організації перевезень зерна між станціями його навантаження та портами до вектору параметрів вагону  $P_v$  (3.17) додано параметр  $U$ , який характеризує тип технології організації перевезень з вагоном (повагонна відправка, маршрутна в завантаженому напрямку, рух кільцевих маршрутів, рух за розкладом тощо). Для реалізації такої можливості параметр  $U$  введено також у структуру, що характеризує поїзд:

$$S = \{i_s, V, P_s, U\}$$

де  $V$  – вектор вагонів у складі поїзда.

$P_s$  – вектор параметрів поїзда (маса, маршрут руху, завантажений/порожній).

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

де  $n$  – кількість вагонів у складі поїзда

В процесі моделювання руху кожного вагона його загальний обіг розбивається на етапи, тривалості перебування в яких моделюються як випадкові величини. Основними фазами обслуговування, в яких знаходиться вагон від станції навантаження до припортової станції вивантаження, є:

- знаходження на станції навантаження;
- прямування від станції навантаження до технічної станції;
- знаходження вагона на технічній станції;
- прямування вагона від технічної станції на припортову станцію;
- знаходження вагона на припортовій станції під вивантаженням.

Пропуск порожніх вагонів відбувається в зворотному напрямку. Принципова схема функціонування імітаційної моделі представлена на рис. 3.1.

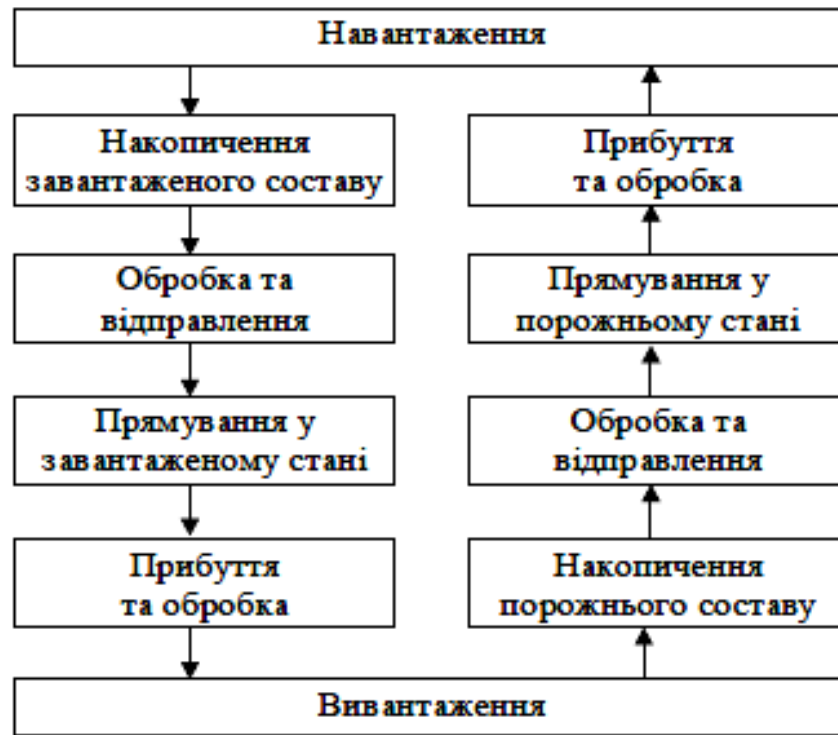


Рис.3.1. Принципова схема моделі руху вагонопотоків

У якості апаратів обслуговування в системі доставки зерна залізничним транспортом розглядаються підсистеми прийому, вантажної роботи, формування і відправлення на залізничних станціях, а також залізничні напрямки між станціями [142].

Кожному апарату обслуговування  $d_j$  у відповідність ставиться множина вагонів  $V$ , що знаходяться в обробці, ідентифікатор наступного (відповідно до технології) апарату обслуговування  $n$ , тип  $q_v$  та параметри  $q_n$  функції розподілу випадкової величини тривалості обслуговування:

$$d = \{V, n, q_v, q_n\}$$

Зміна стану апаратів обслуговування виконується по команді системного таймера з деяким кроком  $t_c$ . У момент надходження вагона  $v_i$  на обслуговування до певного апарату (фази) визначається момент початку обслуговування  $t_p$  і ро-зраховується момент закінчення обслуговування:

$$t_k = t_{\Pi} + f(q_B, q_{\Pi}).$$

Для спрощення моделі при моделюванні обслуговування составів для всіх його вагонів встановлюється однакова тривалість виконання технологічних операцій. Технологічні операції з вагонами вважаються виконаними, коли для всіх операцій  $t_k < t_c$ .

Особливим випадком є моделювання процесу накопичення составів [143]. При моделюванні накопичення составів по довжині закінчення виконання операції визначається по досягненню заданої кількості вагонів у составі з закінченими технологічними операціями. При моделюванні накопичення составу за часом (наприклад, при організації руху поїздів за розкладом) закінчення виконання операції виконується у фіксований момент часу для всіх вагонів, для яких справедлива умова  $t_k < t_c$ . Всі вагони з виконаними технологічними операціями переводяться в наступний апарат (фазу) обслуговування.

Параметр  $U$  (3.17), що характеризує варіант організації перевезень зерна представляє собою список:

$$U = \{m_j\}, \quad j=1, 2, \dots, g$$

де  $m_j$  – параметр, що характеризує тривалість знаходження вагона/поїзда в певній  $j$ -тій фазі обслуговування між станціями навантаження та вивантаження;

$g$  – кількість фаз;

В залежності від технології організації перевезень для кожної  $j$ -ї фази обслуговування параметр  $m_j$  може приймати наступні значення: 0 – дана фаза обігу вагона відсутня для цього варіанту; 1 – тривалість фази є постійною величиною; 2 – тривалість фази моделюється як випадкова величина з заданим законом розподілення; 3 – тривалість фази визначається за результатами імітаційного моделювання процесу.

Після закінчення вагоном чергового циклу обігу фіксуються тривалості

перебування його в кожній з підсистем. Далі ці дані використовуються для статистичного аналізу процесу перевезення зерна зі станцій навантаження у морські порти.

### **3.3. Дослідження ефективності маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів**

При існуючій методиці тарифікації залізничних перевезень в Україні вантажовідправники не отримують ніяких знижок до тарифу при відправленні вантажів маршрутами [30, 37, 39].

Відправлення вантажів прямими маршрутами забезпечує економію на охорону вантажів так, як ставка за 1 ваг-км для прямих маршрутів у 2,35 разів менше за вагонні відправки [42]. Також, зважаючи на концентрацію навантаження в певну добу відповідно до плану маршрутизації, є можливість скоординувати свою роботу вантажовідправника, залізниці та контролюючих органів і знизити непродуктивні простої на станції навантаження. При відправленні зернових вантажів у власних вагонах маршрутами збільшується швидкість просування вагонопотоків. Аналіз даних про просування вагонопотоків за 2016 рік показує, що виключення переробки вагонів на технічних станціях може забезпечити підвищення добової швидкості просування завантажених вагонопотоків до 278 км/доб, а порожніх вагонопотоків до 504 км/доб.

Концентрація вагонопотоків в окрему добу призводить до збільшення обсягів добової подачі-прибирання вагонів. При навантаженні маршрутів у складі 56 вагонів і подачі цих вагонів в одну добу та прибирання їх у наступну вартість по-дачі-прибирання вагонів, віднесена до 1 т зерна становитиме близько 8,8 грн.

Концентрація вантажопотоків на елеваторах може досягатись або за рахунок збільшення обсягів зберігання зерна на них, а відповідно і відстані підвозу зерна до елеваторів автомобільним транспортом, або за рахунок концентрації його навантаження на елеваторах в окремі дні тижня [110].



Якщо район збору зерна на елеватор являє собою коло з відстанню підвезення автотранспортом до 30 км, то залежність додаткових витрат вантажовідправника, пов'язаних з маршрутизацією перевезень, може бути представлена графіком, що наведений на рис. 3.2 [110].

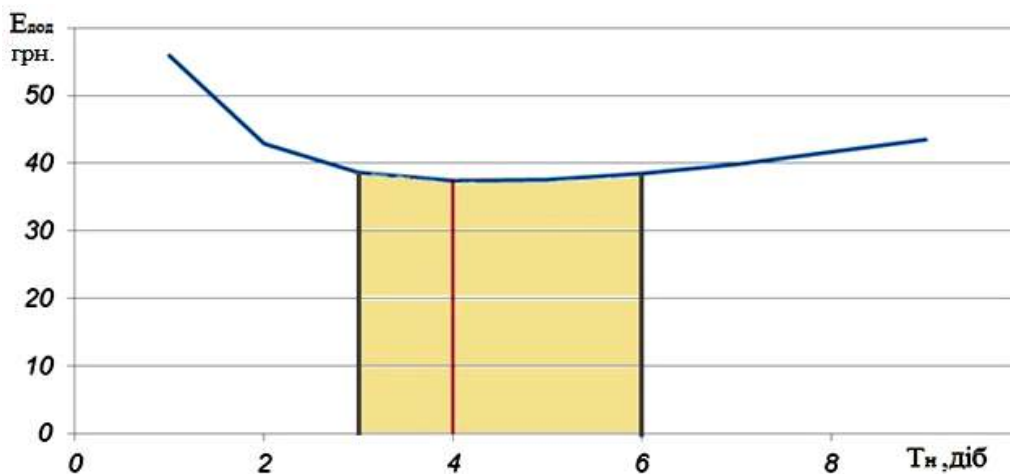


Рис.3.2. Додаткові витрати вантажовідправників, пов'язані з маршрутизацією перевезень

Мінімальні додаткові витрати, що пов'язані з накопиченням вантажу на маршрут досягаються при періоді формування маршрутів у 4 доби, однак різниця у додаткових витратах при періодах у 3-6 діб незначна і складає 1...2 грн/т. Таким чином, додаткові витрати, пов'язані з накопиченням вантажів і вагонів на маршрут становлять близько 40 грн/т.

При використанні вагонів власності підприємств Укрзалізниці маршрутизація порожніх вагонів не має економічного сенсу для вантажовідправників, відповідно капітальні видатки на розвиток інфраструктури вантажоодержувачів (портів) для цього випадку не враховувалися, тому додаткові витрати, пов'язані з маршрутизацією вантажопотоків зерна для парку вагонів УЗ будуть дещо меншими і складають 32 грн/т. Залежності для порівняння вартості перевезень зернових вагонами власності УЗ у складі маршрутів наведені на рис. 3.3.

Аналіз залежностей на рис. 3.12 показує, що маршрутизація перевезень дозволяє скоротити витрати на 15...30 грн/т при наявній інфраструктурі для навантаження зерна маршрутами. У випадку, якщо таку інфраструктуру

потрібно створювати, то витрати при маршрутизації практично дорівнюють витратам при повагонних відправках.

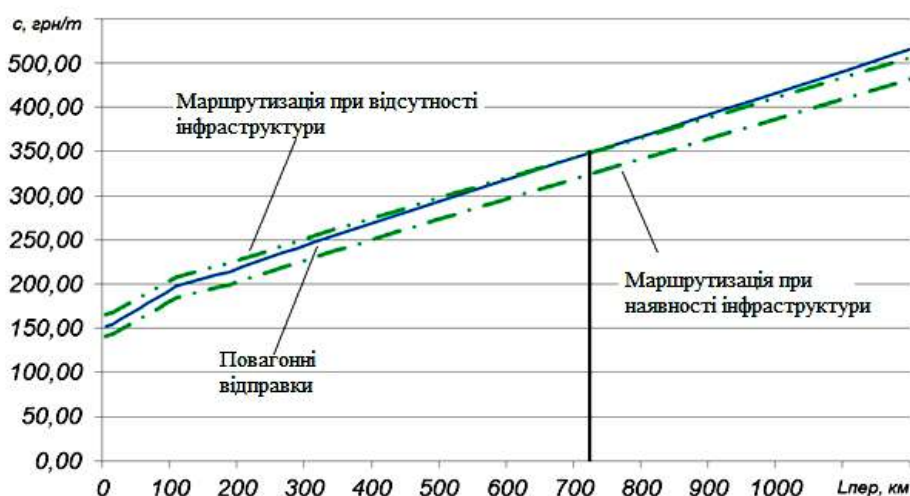


Рис.3.3. Витрати на перевезення зернових вантажів маршрутними відправками в вагонах власності підприємств АТ «Укрзалізниця»

Залежності вартості перевезень зерна маршрутами у власних та орендованих у залізниці вагонах від відстані наведено на рис. 3.4. [129, 110].

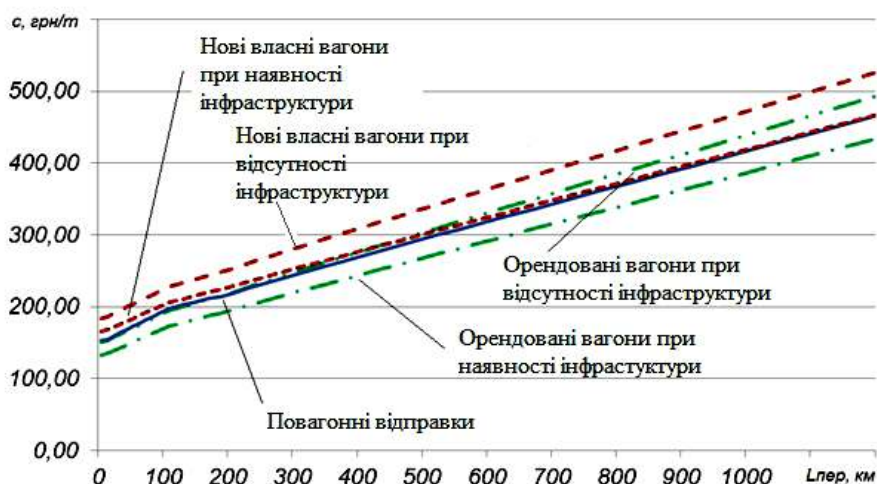


Рис.3.4. Витрати на перевезення зернових вантажів маршрутними відправками у власних та орендованих вагонах

Аналіз отриманих залежностей показує, що використання орендованих вагонів при наявності створеної інфраструктури для навантаження маршрутів

дозволяє забезпечити економію 25...30 грн/т зернових у порівнянні з повагонними перевезеннями. У випадку наявності і інфраструктури, і рухомого складу маршрутизація перевезень дозволяє зменшити витрати на транспортування зерна у морські порти на 50...60 грн/т. При наявності тільки одного їх зазначених елементів витрати на маршрутні відправки практично дорівнюють витратам на повагонні. Необхідність одночасного розвитку і парку вагонів, і інфраструктури елеваторів призводить до виникнення додаткових витрат у розмірі 40...50 грн/т у порівнянні з повагонними відправками. Однією з причин такої ситуації є від-носно незначні (у порівнянні, наприклад, з США) відстані перевезень зерна. Однак, економія витрат при організації перевезення зерна маршрутами (за ра-хунок, зокрема, скорочення обігу вагонів та відповідно підвищення їх продук-тивності) дозволяє частково компенсувати витрати відправників на придбання нового рухомого складу чи розбудову елеваторної інфраструктури.

Варто зазначити, що вказані залежності отримані для існуючої тарифної системи залізничних перевезень, що не передбачає знижок для відправників за маршрутні перевезення. Однак, як вже зазначалось, маршрутні перевезення є для залізниці менш витратними, оскільки маршрутизовані вагонопотоки не потребують переробки на технічних станціях, а початково-кінцеві операції при цьому здійснюються на місцях незагального користування вантажовідправниками та вантажоотримувачами. Запровадження Укрзалізницею гнучкої системи знижок на маршрутні перевезення та початково-кінцеві операції дасть відправникам додаткові стимули як для розвитку відправницької маршрутизації, так і для оновлення власного рухомого складу та інфраструктури [37-39].