

вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002  
тел. +38(057) 7003888 <http://btu.kharkov.ua>, [info@btu.kharkov.ua](mailto:info@btu.kharkov.ua)



Проректор з наукової роботи  
Вадерій МИХАЙЛОВ

**ЗВІТ**

**ПРО НАУКОВОДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
**«РОЗВИТОК ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ВЗАЄМОДІЇ**  
**ЕЛЕМЕНТІВ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАЧАНЬ ПРИ ДОСТАВЦІ**  
**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ»**  
**(остаточний)**

Керівник НДР  
д.т.н., проф.

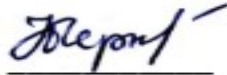
Шраменко Н.Ю.

Рукопис закінчено 19 грудня 2022 року

Результати цієї роботи розглянуто науково-технічною радою факультету економічних відносин та фінансів, протокол №3 від 21.12.2022 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР  
д-р техн. наук, проф.



(підпис).

Н.Ю. Шраменко  
(вступ; розділи 1,2, 5.2;  
висновки)

Виконавці НДР  
канд. техн. наук, доц.



(підпис).

Д.О. Музильов  
(вступ; усі розділи;  
висновки)

«19» грудня 2022 р.

## РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 56 с., 4 табл., 12 рис., 77 джерела.

### СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ПРОДУКЦІЯ, ЗЕРНО, ВАНТАЖ, НЕЙРОНА МЕРЕЖА, НЕЧІТКА ЛОГІКА, МОДЕЛЮВАННЯ, ПОРТ

Об'єкт дослідження – процеси взаємодії елементів ланцюга постачань при доставці сільськогосподарської продукції.

Мета роботи - підвищення функціональності ланцюгів постачань при доставці сільськогосподарських вантажів

Методи дослідження – для попереднього аналізу масиву вихідних даних використано методи статистичного аналізу. При формуванні первинного набору терм множин функцій приналежності використовувався апарат нечіткої логіки. Для розробки прогнозної моделі проводилось навчання нейронної мережі. Протягом усього дослідження використовувалося математичне моделювання.

Проведено вивчення попиту на перевезення за основними категоріями сільськогосподарських вантажів. Виконано аналіз сучасних методів побудови логістичних ланцюгів, що дозволило провести розробку гнучкого алгоритму з використанням нейро-мережевого моделювання для більш точнішого прогнозування попиту на перевезення сільськогосподарської продукції.

Розроблено множини нечітких функцій приналежності, які дозволяють більше розширити спектр описання ситуацій взаємодії автомобільного та морського транспорту при доставці сільськогосподарських вантажів. Це дозволяє проводити краще уточнення нечіткого середовища взаємодії, що покращує первинне налаштування нейронної мережі, яка навчається робити коректний прогноз на меншому масиві вихідних даних. Тим самим доведено, що стали функціональність взаємодії між елементами ланцюга постачань можливо підтримувати в нестандартних умовах просування вантажопотоків.

Отримано залежності на основі нейронних мереж для прогнозування попиту на перевезення сільськогосподарських вантажів із перевалкою їх з автомобільного транспорту на морський. Доведено, що похибка предиктора в налаштованих нейронних мережах є меншою за рахунок здатності моделей до самонавчання на невеликій репрезентативній вибірці вихідного масиву даних.

Методологічно обґрунтовано створення гнучкого модуля прийняття управлінських рішень на основі одночасного використання результатів прогнозування нейронно-нечіткої моделі та параметрів технологічної та техніко-економічної взаємодії елементів ланцюга постачань. Доведено, що використання запропонованих підходів в прийнятті управлінських рішень сприяє сталій функціональності ланцюга постачань сільськогосподарської продукції, що призводить до покращення взаємодії учасників процесу доставки.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів.....	с 5
Вступ.....	6
1 Особливості прийняття управлінських рішень на основі нечіткої логіки при проектуванні ланцюгів постачання сільськогосподарських вантажів до місць взаємодії елементів (пунктів перевалки).....	8
1.1 Останні тенденції (проблеми та рішення) при організації ланцюга постачання для доставки сільськогосподарських вантажів до місць взаємодії елементів (пунктів перевалки).....	9
1.2 Математична представлення методологічного підходу при прийнятті управлінських рішень з використанням нечіткої логіки....	16
2 Формалізація набору терм-множин функцій приналежності при використанні ланцюга постачання сільськогосподарської продукції.....	22
3. Обґрунтування вибору прямого способу перевалки сільськогосподарських вантажів в місцях взаємодії елементів ланцюга постачання.....	24
3.1 Доцільність використання нейронних мереж при прогнозуванні обсягів доставки сільськогосподарських вантажів.....	26
3.2 Тенденції щодо використання нечітких нейронних мереж при прогнозуванні обсягів доставки до місць взаємодії (перевалки) елементів ланцюга постачання.....	27
4. Методика навчання нечітких нейронних мереж при прогнозуванні обсягів доставки до місць взаємодії (перевалки) елементів ланцюга постачання.....	29
5. Результати перевірки запропонованих теоретико-методологічних основ взаємодії елементів ланцюга постачання при доставці сільськогосподарських вантажів.....	36
5.1 Врахування практичних аспектів, які виникають під час взаємодії елементів ланцюга постачання при доставці сільськогосподарських вантажів.....	37
5.2 Оцінка максимальної пропускної спроможності порту у вантажівках на годину відповідно до технічних особливостей інфраструктури.....	38
5.3 Визначення необхідної пропускної спроможності порту у вантажних автомобілях за годину на основі скоординованої взаємодії транспортних засобів і перевантажувальних механізмів.....	39
5.4 Озрахунок фактичної пропускної спроможності порту у вантажівках за годину за результатами прогнозу обсягів перевантаження вантажів за нечітко-нейронною моделлю....	41
6 Створення гнучкого модуля прийняття управлінських рішень на основі одночасного використання результатів прогнозування нейронно-нечіткої моделі та параметрів технологічної та техніко-економічної взаємодії елементів ланцюга постачання	42
Висновки.....	45
Перелік джерел посилання.....	47

## Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів

ЛЦ – ланцюг постачань;

АПВ – агропромислове виробництво;

ANFIS - (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) - адаптивна нейронечітка система логічного висновку;

RMSE - (Root Mean Square Error) – середньоквадратична помилка; L V – (Linguistic variables) – лінгвістичні змінні;

ФП – функції приналежності;

ТМ – терм-множина;

Модель A R X – нелінійна модель ARX , яка складається з регресорів моделі та засобів оцінки нелінійності

## ВСТУП

У роботі представлений підхід з вироблення управлінських рішень для коректного підбору автотранспортних засобів в умовах невизначеності і стохастичного характеру попиту на перевезення зернових по ділянці ланцюга поставок «зерновий елеватор- морський термінал». Виконано обґрунтування актуальності дослідження з описом основних проблем, що виникають при доставці зернових вантажів в ланцюзі постачань за участю автомобільного та морського транспорту. Представлено типову схему у вигляді структурної моделі для візуалізації можливих варіантів доставки зернових в експортному сполученні.

Проведена математична постановка задачі пошуку оптимального управлінського рішення при формуванні умов раціональної структури парку автомобілів, які здійснюють перевезення сільськогосподарської продукції в морський термінал. Розроблено набір управлінських рішень з урахуванням апарату нечіткої логіки. Для вироблення коректного управлінського рішення обґрунтовані значення вхідних факторів у вигляді набору лінгвістичних змінних.

Проведено логічне обґрунтування кількісних характеристик кожного з терм-множин на основі тоннажності прибуваючого в порт судна і кількості зерна, яке знаходиться в резерві безпосередньо на морському терміналі. Попередньо проведено вибір типу функцій належності, які будуть в подальшому використані для побудови простору з метою прискорення вибору рішень на основі нечітко визначених вхідних параметрів.

У роботі, в другій частині, представлено підхід до прийняття управлінських рішень щодо логістичних аспектів у порту під час взаємодії двох видів транспорту. Описана методологія розроблена відповідно до концепції Індустрії 4.0, та перспективної Індустрії 5.0. Тому рішення приймаються на основі розумних методів отримання прогнозних значень обсягів перевалки сільськогосподарських вантажів. Методика враховує два

обмеження, пов'язані з технічними особливостями внутрішньо портової інфраструктури та технологічними аспектами взаємодії двох видів транспорту. В якості предиктора використовується гібридна нейронно-нечітка система ANFIS. Значення часових рядів були попередньо відібрані з ретроспективної вибірки, щоб створити нечітку нейронну модель.

Ці значення попиту є найбільш інформативними та повною мірою описують сучасні тенденції перевалки зернових вантажів. Середня похибка прогнозу не перевищує 4,49%. Фактична потужність розрахована для перевантажувальних механізмів в порту згідно з прогнозом, отриманим за нечіткою моделлю.

Формування остаточних управлінських рішень відбувалося після розрахунку необхідних потужностей порту для забезпечення злагодженої роботи вантажних автомобілів і навантажувальних механізмів. Визначено раціональну область прийняття управлінських рішень при організації функціонування логістичних систем у порту. Наведено математичну формалізацію подальших досліджень, спрямованих на мінімізацію часу перебування судна в порту.

## **1. Особливості прийняття управлінських рішень на основі нечіткої логіки при проектуванні ланцюгів постачання сільськогосподарських вантажів до місць взаємодії елементів (пунктів перевалки)**

Сучасна Україна є одним з провідних експортерів зернових на світовому

ринку. При цьому щороку спостерігається природна тенденція до збільшення експортних обсягів даної категорії сільськогосподарської продукції. Зростання пояснюється впровадженням нових смарт-технологій в агропромислову галузь, які позитивно відображаються на врожайності [1], і, в першу чергу, на збільшенні кількості центнерів зібраної пшениці з одного гектару.

При збільшенні обсягів постачань природним є виникнення питання щодо удосконалення процесу перевезення зернових вантажів до транспортних вузлів, з яких виконується відправка сільськогосподарської продукції на експорт. Найпоширенішою технологією доставки зернових вантажів в інші держави є варіант ланцюга постачань, де транспортне забезпечення здійснюється за допомогою автомобільного та морського транспорту [2]. При цьому останній виступає в ролі магістрального.

Саме у вирішенні питань вибору раціонального управлінського рішення і полягає ефективність функціонування ланцюга постачань «Виробництво (склад)-автомобільний транспорт-морський термінал-морський транспорт-порт призначення». Найбільша кількість проблемних питань, з точки зору транспортних технологій, виникає саме на ділянці ланцюга поставок між відправником і зерновим елеватором, що перебуває в порту.

Головна проблема, яка повинна бути вирішена в першу чергу, - зниження транспортних витрат від непродуктивних простоїв автомобілів в порту, які залежать від декількох факторів:

- рівня узгодженості між учасниками доставки при виконанні розвантажувальних робіт в порту;



- приналежності використовуваного парку вантажних автомобілів: власний або орендований;
- тоннажності судна, яке прибуває під навантаження і тривалості його перебування в порту.

Для зменшення часу перебування судна в порту під вантажними роботами необхідно забезпечити своєчасність прибуття навантажених автотранспортних засобів. Зазначений факт гарантує мінімізацію витрат перевізників і відвантаження зерна, відповідає за якістю експортного рівню.

Організація даного типу поставок відбувається в оперативному періоді планування, тому при прийнятті управлінських рішень щодо формування раціональної структури парку автомобілів виникає безліч невизначених ситуацій, які породжують неоднозначність вибору коректного рішення з набору альтернатив при організації та управлінні транспортним процесом.

### **1.1 Останні тенденції (проблеми та рішення) при організації ланцюга постачань для доставки сільськогосподарських вантажів до місць взаємодії елементів (пунктів перевалки)**

Використання транспортно-технологічної схеми за участю двох видів транспорту має свою специфіку, яка породжує деякі проблеми в логістиці транспорту і складського комплексу, через який відбувається перевантаження вантажопотоків. Для України до визначальних особливостей технології доставки зернових через морський термінал відносяться наступні:

- Для завантаження морських суден може використовуватися лише один з двох великих морських портів України, який знаходиться в місті Маріуполь. Пояснюється це тим, що в місті Чорноморське (Іллічівськ) вантажний термінал не має спеціалізованого зерносховища (елеватора) і він не обладнаний необхідним типом вантажних механізмів, що унеможливило якісне завантаження морських транспортних засобів.

- Основні вантажопотоки, які направляються до порту транспортуються залізничним транспортом з усіх регіонів України, але для перевезення на невеликі відстані використовується лише автомобільний транспорт. При цьому автоперевезення виконується різними транспортними компаніями або безпосередньо рухомим складом агропідприємств. Це призводить до значної схоластичності процесу прибуття автомобілів на термінал порту і істотно знижує узгодженість роботи розвантажувального пункту і автомобільного транспорту. У свою чергу, наднормативні простой автомобілів в очікуванні своєї черги на розвантаження є причиною зниження якості зерна при прийомі його на морському терміналі.

- Децентралізовані перевезення обумовлюють використання різнопланового рухомого складу, який здійснює транспортування зерна. У більшості випадків він застарів, що істотно відображається на втратах зерна при перевезенні і безпосередньо впливає на фізико-хімічні властивості вантажу. Це є головною причиною того, що сільськогосподарська продукція приходить в порт з надмірною вологістю або температурою, а отже, не відповідає стандартам, які висуваються до експортних вантажів.

Таким чином, в період збільшення вантажопотоків зернових від агропідприємств до порту Маріуполя, стає питання централізованого підходу при організації транспортного процесу. Це дасть можливість істотного зменшення витрат на організацію перевізного процесу та знизить навантаження на термінал порту завдяки досягненню оптимального співвідношення провізних можливостей парку автомобілів виробничим потужностям розвантажувального пункту в порті.

Поточний об'єкт дослідження (процес руху зерна по ланцюгу постачань із застосуванням двох видів транспорту) може бути представлений у спрощеній формі на рисунку 2.6, який характеризує можливі варіанти доставки зерна по ланцюгу «фермерські господарство - морський порт» [3].

На основі даної схеми (Рис. 1) видно, що на більшій частині ланцюга постачань задіяний автомобільний транспорт. Тому на нього і доводиться

більшість проблемних моментів з точки зору організації і управління транспортними потоками.

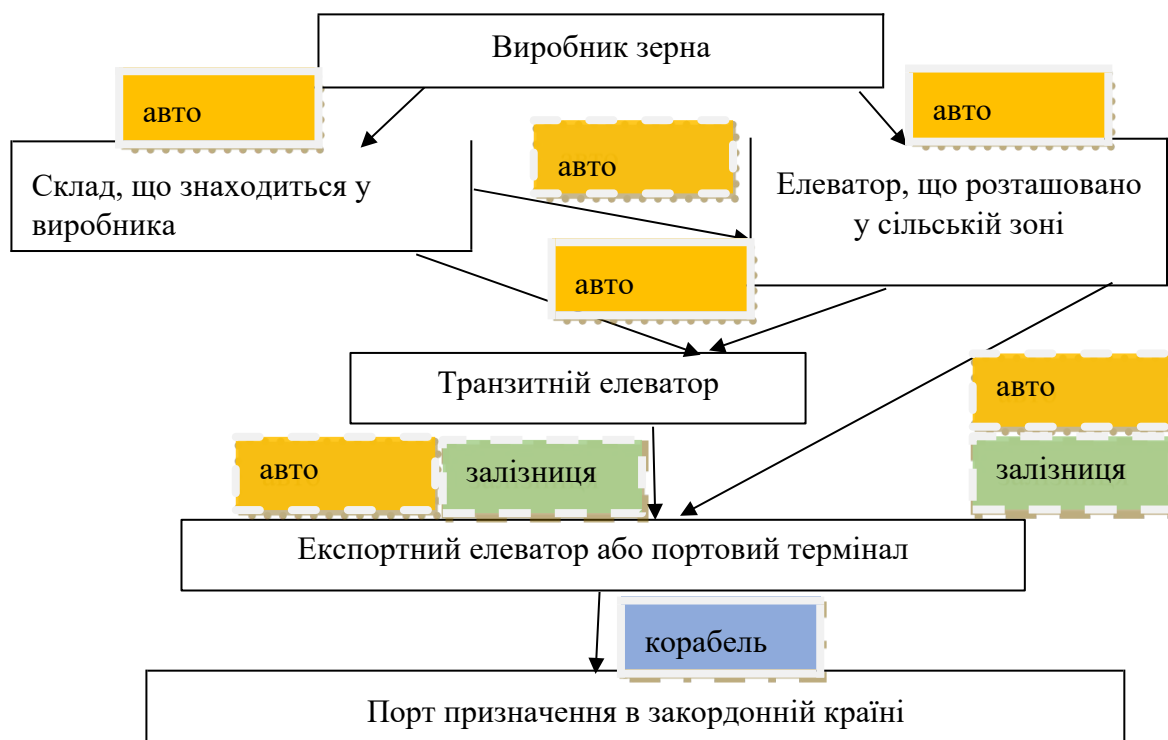


Рисунок 1 – Класичний варіант ланцюга постачань при експорті сільськогосподарських вантажів

Так, важливим аспектом щодо вибору необхідного типу транспортного засобу є врахування фактору оренди автомобіля, який накладає додаткову нечіткість на досліджуваний об'єкт. Адже згідно зі щорічною доповіддю [4] для доставки зерна в порт фермерські господарства повинні використовувати в більшості своїй найманий рухомий склад. Це пояснюється тим, що постачальники високоякісного експортного зерна - це на 70% невеликі за посівними полями і виробничим потужностям фермерські господарства. Такому типу аграрних виробництв недоцільно утримувати великий парк рухомого складу. Адже, автомобілі використовуються на 100% лише в певний сезон, а потім вони або простоюють, або здаються в оренду.

Автором в роботі [5] акцентовано увагу на тому, що доцільність застосування власного парку транспортних засобів вимагає обґрунтування.

У дослідженні [6] автор значну увагу приділяє вирішенню проблеми ефективного використання транспортних засобів у сільському господарстві. Важливим при зборі врожаю є запобігання простою зернозбиральних машин через відсутність транспортних засобів. Уникнути цього можна завдяки правильній організації збирально-транспортних робіт, для чого розраховують необхідну кількість транспортних засобів. Дана робота показує технологію проведення узгодження при вантажно-розвантажувальних роботах, проте не дозволяє прийняти управлінське рішення для вибору автомобілів при випадковому характері попиту.

Дослідження [7] присвячено вивченню особливостей транспортного процесу, здійснюваного основними видами транспорту при доставці в ланцюзі постачань зерна. Автори провели детальний аналіз переваг використання кожної групи транспорту. Але, представлені математичні моделі не дають можливості виробити управлінське рішення. Вони є лише результуючою складовою, яка показує який варіант транспортування зерна буде пріоритетним.

Цікавим з точки зору взаємодії транспорту з термінальною системою є роботи [8, 9], виконані на прикладі функціонування пасажирських термінальних систем. У дослідженні для безперебійної роботи пасажирського терміналу використовуються принципи, які можуть частково бути перенесені при виробленні управлінського рішення в процесі доставки зернового вантажу. Йдеться про те, що в основу проектування системи закладені прогнозні моделі попиту на перевезення.

Особливістю дослідження [10] є підбір принципів для ефективного управління транспортом з урахуванням фактору попиту на перевезення специфічних вантажів: машини, сільськогосподарське обладнання та військові поставки. При цьому підхід цікавий перш за все через вид сполучення, в якому відбувається відправка - міжнародне - і нерегулярності поставок за аналогією з варіантом відправки зерна на морський термінал.

Представлені в роботі моделі дозволяють оптимізувати час знаходження судна, розрахувати

найкращі варіанти графіків прибуття автотранспорту для завантаження корабля. Однак вони ґрунтуються на евристичних принципах, які не дозволяють нівелювати фактор невизначеності в досліджуваному процесі.

Автори роботи [11] розглядають ефективність ланцюга поставок, ґрунтуючись на прогностичних значеннях попиту на перевезення і скоординованій роботі транспорту і засобів розвантаження. Аналіз проведеного дослідження показав, що наявність достовірної інформації стає пріоритетним чинником. За рахунок цього аспекту можна розробити управляючі дії, спрямовані на поліпшення процесу перевезення зерна в порт. Однак, дані моделі не працюють при оперативному плануванні, коли необхідно швидко приймати коректне рішення з урахуванням фактору невизначеності.

Підвищення ефективності управління системи доставки вантажу з використанням логістичних терміналів і отримання синергетичного ефекту за рахунок оптимізації технологічних і управлінських рішень, спрямованих на ресурсозбереження та синхронізацію логістичних потоків, запропоновано автором роботи [12]. Однак в дослідженні не розглянуті питання кореляції роботи автомобілів і розвантажувального пункту.

Представлений підхід авторів [13] дозволяє раціоналізувати структуру парку контейнерів, які проходять через термінальний комплекс. Підхід заснований на отриманні прогнозу майбутніх обсягів перевезення на основі класичних імовірнісних принципів. Система не може бути використана в повному обсязі при плануванні доставки зернових вантажів через морський термінал, так як не дозволяє прийняти оперативно управлінські рішення.

В роботі [14] авторами детально розглянуті принципи функціонування морського терміналу при нерівномірності вхідних і вихідних вантажопотоків. Визначено оптимальний час знаходження судна на причалі. Однак немає методики прийняття рішень на основі декількох факторів. Зокрема, з урахуванням параметрів роботи парку автомобілів.

Дослідження в роботі [15] присвячені використанню методики визначення затримок поїзда порівняно з розкладом. Представлена модель дозволяє розробити гнучкий графік руху поїздів, щоб уникнути затримок по прибуттю на станцію. Деякі принципи можуть бути використані для координації роботи учасників запропонованої ланцюга поставок. Однак даний підхід застосовувався лише на прикладі залізничного транспорту і без урахування фактору коливань попиту на перевезення.

Згідно зі стратегією розвитку запропонованої міністерством України [16] навантаження на портові потужності, а також на транспорт, що забезпечує доставку зерна та іншої сільськогосподарської продукції, буде зростати. Тому актуальність вироблення коректних управлінських рішень підвищується. Зокрема, зроблені перші кроки в цьому напрямку. Так, в роботі [17] запропонована методика вибору раціональної дальності контейлерної доставки вантажів у міжнародному сполученні, заснована на визначенні рівноважного значення відстані перевезення для альтернативних варіантів: доставки автомобільним транспортом у прямому сполученні і контейлерної доставки. Однак в роботі немає рекомендацій щодо вибору раціональних рішень при варіанті ланцюга поставки «зерновий елеватор-морський термінал», коли сполучною ланкою виступає вантажний автотранспорт. Це тим більш актуально в зв'язку з майбутнім запуском нового морського терміналу з сучасними потужностями [18].

У роботах [19-22] опрацьовані основні принципи синхронізації роботи різних категорій транспорту і вибору кращих варіантів на основі принципу мінімальних витрат. Однак, для транспортування зерна запропоновані моделі працюватимуть за умови постійного попиту, що в принципі не спостерігається. Наявність коливань на поставку зернових в порт викликано суттєвими коливаннями ціни на дану продукцію на світових ринках. Від цього у виробника зерна з'являється бажання продати продукцію дорожче. А отже, про регулярність поставок зерна в порт мови не йде. Тому для

планування необхідно використовувати підходи, які враховують фактор невизначеності.



Однією з найближчих робіт в контексті даної проблеми стало дослідження [23]. У ньому автор запропонувала графік технологічного процесу функціонування виробництва і транспорту, що передбачає скоординовану технологію роботи взаємопов'язаних підприємств при організації контрейлерної доставки в умовах функціонування транспортно-логістичного кластера. Однак обраний рівень планування не є оперативним, тому система підтримки ухвалення рішень буде давати збої при доставці зернових культур в порт. При цьому запропонована розробка ідеально підходить для управління при включенні в ланцюг постачань залізничного транспорту.

У дослідженнях [24, 25] автори запропонували підхід до регулювання прибуття наземного вантажного транспорту в порт, виходячи з відомого графіка прибуття суден у порт. В якості базової моделі використовується класична задача лінійного програмування. Дана методика не може усунути фактор невизначеності, яка виникає при доставці зерна в морський термінал.

Робота [26] присвячена підтримці достатнього рівня надійності в ланцюзі постачань. Планування здійснюється на підставі точних прогнозних значень обсягів перевезення. Дана методика не апробована на вантажах, які мають сезонний характер попиту, такі як сільськогосподарська продукція.

В роботі [27] передбачається поділ рівнів управління вантажним транспортом при доставці товарів через транзитні склади. Однак, представлений аналіз є всього лише рекомендацією для розробки моделей, що дозволяють приймати конкретні управлінські рішення.

Для визначення оптимального обсягу одночасної поставки зерна на термінал порту і оптимального інтервалу постачання пропонується розробити математичну модель, яка б враховувала технологічні особливості процесу доставки в розглянутому варіанті ланцюга постачань. Впровадження технології на основі отриманих оптимальних параметрів дозволить підвищити ефективність використання рухомого складу і виробничої потужності портового терміналу [28]. Зменшення

експлуатаційних витрат призведе до

зменшення остаточної експортної вартості сільськогосподарської продукції, яка транспортується через морський термінал.

Таким чином, для вироблення раціонального набору управлінських впливів на розглянутому ланцюгу постачань необхідно застосовувати нечітку логіку. Даний математичний апарат дозволяє досягти кращих результатів при наявності великої кількості нечітко-визначених факторів.

## **1.2 Математична представлення методологічного підходу при прийнятті управлінських рішень з використанням нечіткої логіки**

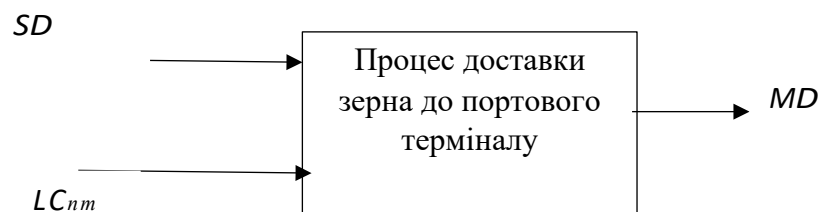
Для розглянутої ділянки ланцюга постачань «зерновий елеватор-морський термінал» вибір ефективного управлінського рішення при оперативному плануванні роботою вантажних автомобілів ще більше ускладнюється. Це викликано тим, що відносні переваги між окремими варіантами альтернативних рішень описані нечітко, що обумовлюється, в першу чергу, нечіткістю самої множини альтернатив. Тому, саме математичний апарат теорії нечітких множин дозволяє істотно полегшити формалізацію і успішно вирішити завдання формування раціонального парку транспортних засобів в умовах існуючої невизначеності.

Тому основна задача дослідження - виробити набір управлінських рішень для формування раціонального парку транспортних засобів в умовах стохастичного характеру попиту на перевезення зернових по ділянці ланцюга постачань «зерновий елеватор- морський термінал».

В якості математичної моделі оперативного планування роботи автомобілів, які здійснюють перевезення на ділянці ланцюга поставок «зерновий елеватор-морський термінал», пропонується використовувати нечіткий модуль управління. Це дозволить на основі наближених розрахунків врахувати невизначеність вхідної (що надходить) інформації, яка представлена у вигляді нечітко визначених параметрів, обмежень і критеріїв,

які виводяться з детального аналізу технології оперативного планування перевезеннями.

Следовательно, при анализе и на основании имеющейся информации об исследуемой системе было выявлено множество всех допустимых альтернатив для выработки наиболее рационального управленческого решения по формированию рациональной структуры парка автомобилей. Это позволило создать систему с двумя входами  $x_i$   $SD; LC$  и одним дискретным выходом  $y$   $MD$ , где дискретные значения  $MD$   $md_1, md_2, \dots, md_n$ , соответствующие одному из уровней принятия решений. Для этого исследуемый объект представлен в виде кибернетической модели черного ящика (Рис.2):



Умовні позначення:  $SD$  - очікувані темпи зміни попиту на перевезення сільськогосподарського вантажу в плановий період, т;  $LC$  - оптимальний рівень завантаження рухомого складу;  $MD$  - управлінське рішення, спрямоване на формування раціональної структури парку автомобілів на оперативний період планування.

Рисунок 2 – Кібернетична модель чорного ящика для формування раціональних розмірів парку автомобілів при транспортуванні зерна

При цьому цільова функція для формування раціональної структури парку автомобілів при перевезенні сільськогосподарської продукції в морський термінал матиме наступний вигляд:

$MD_i \quad md_1, md_2, \dots, md_n \rightarrow \text{rational} .$

(1)

З метою ефективної організації перевезення сільськогосподарських вантажів автотранспортом необхідно своєчасне застосування регулюючих заходів для коригування прийнятих планів з освоєння потенційних обсягів вантажу. В рамках завдання управління приймаються управлінські рішення щодо визначення і збереження на оптимальному рівні співвідношення між номінальною вантажопідйомністю транспортних засобів, задіяних в процесі доставки, і фактичною кількістю сільськогосподарського вантажу, яке знаходиться на морському терміналі, і тоннажністю судна, яке прибуває в порт.

Виходячи з мети дослідження в математичному вигляді задача пошуку оптимального управлінського рішення виглядає наступним чином:

$$X_i \in SD; LC \quad Y \in MD \quad md_1, \dots, md_n, n \in 1,7 \rightarrow \text{rational} . \quad (2)$$

Можливий набір альтернатив складається з семи рівнів рішень з управління системою перевезення зерна. Вони представлені в таблиці 1.

Виходячи з ретроспективного аналізу (retrospective analysis) про параметри функціонування системи по доставці зерна в морський термінал автомобільним транспортом був вивчений принцип формування управлінських впливів.

Суть технології оперативного регулювання при формуванні якісної структури парку автомобілів передбачає проведення прогнозування попиту на сільськогосподарські вантажі, що доставляються в порт. Для адекватності результатів застосовується принцип «віддаленого горизонту» в межах планування на оперативний період.

Таблиця 1 – Запропоновані рівні варіювання управлінських рішень

Рівень управління	Умовне позначення	Опис управлінської дії
I	$md_1$	не змінювати кількості і вантажопідйомності автомобілів, які здійснюють доставку сільськогосподарського вантажу
II	$md_2$	зменшити вантажопідйомність автомобілів, які здійснюють перевезення сільськогосподарського вантажу
III	$md_3$	збільшити вантажопідйомність автомобілів, які здійснюють перевезення сільськогосподарського вантажу
IV	$md_4$	зменшити кількість автомобілів
V	$md_5$	збільшити кількість автомобілів
VI	$md_6$	зменшити кількість автомобілів, з одночасним збільшенням вантажності машин, які залишилися для перевезення зерна
VII	$md_7$	збільшити кількість автомобілів, з одночасним зменшенням вантажопідйомності рухомого складу, який необхідний для перевезення зерна в морський термінал

При організації перевезень зерна резервування рухомого складу і формування маршрутів повинно відбуватися в інтервалі між прибуттям двох кораблів в порт. Зазвичай цей період не перевищує семи днів. Тижневий термін при необхідності дозволяє провести повну координацію в роботі всіх учасників ланцюга постачань на ділянці «зерновий елеватор-морський

термінал», що знижує можливі втрати зерна через простій і зменшує витратну

складову. Також зазначений період планування дозволяє ввести коригування в графік роботи або маршрут руху автомобіля, якщо виникне позапланова необхідність.

Тому, перша вхідна змінна нечіткої моделі асоціюється з параметром навантаження на об'єкт ідентифікації, тобто на ділянку ланцюга поставок «зерновий елеватор-морський термінал». Швидкість зміни попиту визначена, як очікувані темпи зміни даного показника на перевезення зерна в інтервалі між прибуттям двох кораблів, тобто на період планування:

$$SD = \frac{D_{after}^{sh2} - D_{befor}^{sh1}}{I_{sh1}^{sh2}}, \quad (3)$$

де  $D_{befor}^{sh1}$  - фактичне значення попиту вантажопідйомність автомобілів перед прибуттям першого судна в порт, тобто на початок планування, т;

$D_{after}^{sh2}$  - прогнозне значення попиту на перевезення зерна перед прибуттям другого корабля в порт, яке визначається на підставі завантаженості терміналу зерном і тоннажності самого судна, т. Враховує тенденцію зміни попиту на перевезення;

$I_{sh1}^{sh2}$  - інтервал між заходом в порт попередніх і наступних кораблів, днів. Даний показник характеризує часовий горизонт планування перевізним процесом.

У разі якщо за результатами розрахунку залежності (3) виходить від'ємне значення, то це свідчить про зниження обсягів перевезень. Виходом буде зменшення кількості автомобілів або ж вантажопідйомності, а можливо двох показників одночасно. При позитивному значенні попит на перевезення зерна збільшується, що говорить про необхідність збільшення провізних можливостей парку автомобілів.



Другий вхідний фактор в об'єкт дослідження характеризує умова рентабельності роботи автомобілів. Оптимальний рівень завантаження парку

автомобілів характеризує доцільність їх використання на даному полігоні обслуговування. Оптимальне значення даного показника визначається виходячи з одночасного виконання двох умов представленої системи нерівностей:

$$LC \begin{cases} LC_{opt}^{auto} \\ LC_{opt}^{auto} \end{cases} \begin{cases} LC_{min}^{-30\%} \\ LC_{max}^{30\%} \end{cases} \quad (4)$$

де  $LC_{opt}^{auto}$  - оптимальний рівень завантаження множини автомобілів, що здійснюють доставку зерна на ділянці ланцюга постачань «зерновий елеватор-морський термінал»;

$LC_{min}^{-30\%}$  - середнє значення мінімально допустимого рівня завантаження автомобілів, які здійснюють перевезення;

$LC_{max}^{30\%}$  - середнє значення максимально допустимого рівня завантаження автомобілів, які здійснюють перевезення.

Залежність (3) має сенс, якщо значення  $LC_{min}^{-30\%}$  не може бути менше, ніж на 30% від тоннажності судна. Так як велику різницю складно компенсувати за рахунок резервів зерна, яке може перебувати у сховищі морського терміналу. Аналогічно рішення виникає при виконанні другої умови системи нерівностей (3), коли оптимальний рівень завантаження автомобілів не буде перевищувати  $LC_{max}^{30\%}$  більш ніж на 30%, тому що створювати надлишковий резерв зерна на сховище в порту за тиждень до прибуття наступного судна недоцільно. В цьому випадку продукція може втратити свої якісні характеристики і не відповідати експортним стандартам.

Даний підхід дозволяє раціоналізувати процес організації доставки зерна на ділянці ланцюга постачань «зерновий елеватор-морський термінал» та знизити втрати від використання надмірної кількості рухомого складу при повному задоволенні попиту на перевезення.

## 2 Формалізація набору терм-множин функцій приналежності при використанні ланцюга постачань сільськогосподарської продукції

На основі безперервності безлічі базових значень вхідних змінних може бути використаний функціональний метод визначення форми представлення нечітких термів [29, 30]. Аналіз теорії нечіткої логіки показав, що найбільшого поширення в практичних додатках отримали трикутні, трапецієподібні і дзвоновидні (гаусові) функції приналежності, параметри яких дозволяють змінювати форму функцій. Тому пропонується проста і зручна для настройки аналітична модель функцій приналежності змінної  $x_k$  довільного нечіткого терму  $T_k^p$  у вигляді:

$$(T_k^p) = \frac{x_k - b_k^m}{c_k^m} \exp, \quad (5)$$

де  $b_k^m$  і  $c_k^m$  параметри налаштування функції приналежності;

$b_k^m$  - координата максимуму функції;

$c_k^m$  - коефіцієнт концентрації функції.

Виходячи з розглянутих обмежень і вимог, входи моделі представлені у вигляді лінгвістичних змінних, значення яких визначаються на єдиній шкалі з п'яти термів для всіх  $x_k, k \overline{1, m}$ .

Виходячи з фізичного змісту показника і існуючих умов роботи автомобілів під час перевезення зерна, можна скласти набір терм-множин (Таблиця 2).

Для настройки функцій приналежності необхідно задати кількісні характеристики вхідних параметрів, які описуються певною терм-множиною.

Таблиця 2 - Лінгвістичні змінні вхідних параметрів

Назва лінгвістичної змінної	Символ	Розподіл терм-множин	Характеристика терм-множин
Очікувані темпи зміни транспортного попиту на сільськогосподарські вантажі	$LV(SD)$	негативне істотно	Завантаження корабля проходить із затримкою через відсутність <u>резервів</u>
		негативне незначно	Завантаження корабля відбувається за рахунок резервів зерна, що знаходяться на терміналі до 30%
		середнє	Завантаження корабля відбувається за прямим варіантом з автомобіля <u>на судно</u>
		незначно позитивне	Повне завантаження судна і створення максимально можливого <u>резерву зерна</u>
Оптимальний рівень завантажень автомобілів	$LV(LC)$	істотно позитивний	Простій автомобілів через необхідність вивантаження надлишків зерна в
		нижче оптимального	Провізні можливості менше на 30% <u>тоннажності судна</u>
		вище оптимального	Провізні можливості <u>рівні тоннажності судна</u> Провізні можливості перевищують

При цьому згідно з класичним положенням теорії нечітких множин кількісні характеристики вхідних параметрів представляються нечітко у вигляді набору лінгвістичних змінних. Вони можуть розділятися на три групи. У деяких випадках застосовується більш деталізоване поділ термів на лінгвістичні змінні ( $LV$ ), наприклад на п'ять категорій [31-33]:

- Н - низьке значення параметра;

- НС - значення параметра нижче середнього;
- С - середнє значення показника;
- ВС - значення параметра вище середнього;
- В - високе значення показника.

Представлена характеристика терм-множин дозволить провести коректне налаштування функції приналежності і вибрати найкращий варіант для формування простору нечітко визначених вхідних факторів для пошуку раціонального управлінського рішення при організації перевізного процесу зерна [34, 35] на ділянці ланцюга поставок «зерновий елеватор-морський термінал» в оперативний період планування.

### **3. Обґрунтування вибору прямого способу перевалки сільськогосподарських вантажів в місцях взаємодії елементів ланцюга постачань**

Основним показником правильного планування виробництва в майбутньому є точний прогноз потенційних обсягів. Для транспортного процесу на ділянці об'єкта дослідження такий показник повинен базуватися на значенні обсягів перевантаження зернових вантажів через відповідний порт.

Збільшення вантажообігу українських морських портів є свідченням динаміки зростання в майбутньому періоді порівняно з попередніми роками за результатами їх роботи протягом 2019-2021 років [36]. Водночас можуть виникати певні навантаження на основні ланки логістичного ланцюга, особливо в вузлах взаємодії різних видів транспорту. Тому виникає необхідність забезпечення безперервності та ефективності транспортних процесів.

Частка сільгосптоварів, що перевалюються через морські порти України, склала близько 37,4% від загального обсягу перевалки (160 млн. тон у 2019 році). Ця інформація отримана за статистичними даними,

протягом останнього

звітнього року. В першу чергу це були зернові культури, які експортувалися до країн Європейського Союзу та інших регіонів світу.

Ця статистика свідчить про збільшення вантажопотоку через кілька українських портів. Цей факт передбачає збільшення потужностей складу та завантаження механізмів у портах [37]. Проте реалізація цих заходів досить капіталомістка і довготривала. Тому логістичні компанії порту шукають альтернативні варіанти взаємодії двох транспортних засобів при перевантаженні сільськогосподарських вантажів [38].

Тому нещодавно Європейські країни почали використовувати технологію прямого перевантаження на судно з автомобільного транспорту (рис. 3).



Рисунок 3 - Перевантаження зернових вантажів з автотранспорту на судно за допомогою мобільного перевантажувача

Прямий варіант передбачає мінімальні часові та грошові витрати на обслуговування судна в порту. Однак для забезпечення постійної взаємодії між двома видами транспорту необхідно мати точний прогноз майбутніх обсягів перевантаження зернових вантажів портом. Коректні дані про обсяги перевезень у майбутньому можуть допомогти краще скоординувати роботу між учасниками процесу доставки зернових вантажів [39]. Однак складність

отримання точного прогнозу полягає в наявності набору випадкових факторів, які необхідно враховувати.

Тому, рекомендується використовувати комплексні рішення для організації та планування виробничих процесів на основі останніх досліджень в галузі Індустрії 4.0 та перспективної Індустрії 5.0. Така концепція передбачає значне використання інтелектуальних технологій, що допомогло спростити процеси розподілу при спільному використанні виробничих ресурсів. Зазначене значно підвищує оперативність прийняття управлінських рішень, особливо в умовах складності прогнозування майбутніх обсягів [40, 41].

### **3.1 Доцільність використання нейронних мереж при прогнозуванні обсягів доставки сільськогосподарських вантажів**

Зараз одним із рішень є використання нейронних мереж, які дають результат з мінімальною похибкою та здатні до саморегулювання та самонавчання [42]. Такий підхід дозволяє отримати адекватний прогноз обсягів перевалки вантажів через портові термінали. Застосування підходів, заснованих на еволюційних принципах, дозволяє значно економити час при прийнятті правильних управлінських рішень в умовах постійного розподілу матеріальних потоків [43, 44] або багатокритеріальних [45] на основі концептуальних рішень за принципами Індустрії 4.0 та 5.0. Представлений варіант моделювання різних параметрів матеріального потоку дозволяє досягти оптимальних рішень при невеликій кількості інформації. Також пропонується використовувати моделювання на основі нейронної мережі для прийняття правильних управлінських рішень у логістичних системах, так само, як використання управлінських навичок для підтримки інновацій [46].

Використання подібної технології має плюси не тільки для компаній, які відповідають за правильну організацію логістики в порту, але і для сільськогосподарських підприємств, які для



доставки                      зазвичай                      використовують  
орендований рухомий склад. Правильний прогноз дозволить

завчасно зарезервувати необхідну кількість транспорту для доставки відповідних обсягів зернових вантажів до порту в обхід морського терміналу [47]. Це потенційно позитивно вплине на загальні транспортні витрати, які оплачує орендар вантажівок.

Водночас питання надійності транспортування має найвищий пріоритет на кожному рівні доставки ланцюгів поставок. Це пояснюється тим, що збільшення обсягів перевалки через порти збільшує ймовірність певних збоїв у мультимодальних транспортних процесах, особливо при доставці масових вантажів [48]. Продукція агропромислового виробництва (АВП) для України, як аграрної держави, є передусім масовим постачанням [49].

Актуальність дослідження підтверджує також той факт, що вантажопотік зернових займає перше місце серед сільськогосподарської продукції, відправленої з портів України за статистикою за останні десять місяців 2021 року. Тому необхідно мати модель прогнозування вантажопотоку, яка базується на сучасних методах. Подібні моделі можуть бути використані для отримання інших параметрів при перевантаженні аналогічних категорій масових вантажів.

Таким чином, метою дослідження є розробка підходу, який дає змогу приймати управлінські рішення щодо організації логістичних питань у порту під час взаємодії двох видів транспорту, враховуючи результати прогнозування за допомогою еволюційних моделей самонавчання.

### **3.2 Тенденції щодо використання нечітких нейронних мереж при прогнозуванні обсягів доставки до місць взаємодії (перевалки) елементів ланцюга постачань**

Питання взаємодії наземного транспорту з річковими суднами торкаються в дослідженні [50]. Модель завантаження та розвантаження суден у порту Boon Baru Port, Палембанг в Індонезії, показує важливість наявності

точності прогнозу майбутніх обсягів вантажів, які доставляються вантажівками при прибутті судна.

Необхідно мати по можливості більш точний прогноз, який дозволяє використовувати інноваційну технологію завантаження морських суден прямим варіантом відповідно до останніх тенденцій. Отримувати моделі прогнозування з мінімальним відхиленням від фактичних обсягів можливо за допомогою розумних методів. Для вирішення цього завдання найкраще підходять різні модифікації нейронних мереж і генетичних алгоритмів [51].

На прикладах різних типів портів розглянуто практику застосування моделей прогнозування, які базуються на принципах самонавчання та еволюції [52-54]. Водночас основним недоліком подібних моделей є їх налаштування лише на часовий ряд, який відповідає вантажу, що має масовий характер і стабільний вантажопотік [55-57]. Перевантаження зерна відбувається в морських портах тільки в періоди зростання світових цін на зерно. Тому розроблені раніше системи прогнозування мають дуже низьку точність.

Для формування вхідних даних необхідно використовувати теорію нечіткої логіки, оскільки доцільніше отримати правильний результат прогнозу [58-60]. Цей аспект дозволяє уточнити набір параметрів, який належить кожному значенню часового ряду, і мінімізувати вплив випадкових факторів на якість прогнозу.

З використанням нейронної мережі для середньострокового прогнозування обсягів вантажопотоку відпадає необхідність збору великої кількості базових даних. Цей факт встановлено на основі аналізу дослідницьких робіт [61, 62].

У дослідженнях [63] акцентовано увагу на реєстрації коливань вхідного вантажопотоку. Також істотне значення має злагоджена технологія роботи взаємопов'язаних підприємств при організації процесу доставки вантажів [64-65]. Такий же вплив має синхронізація логістичних потоків [66]

для стабільного

отримання

функціонування системи

найбільшого

та

синергетичного ефекту в системі доставки вантажів. А це повна гарантія наявності правильного прогнозу щодо прогнозованих обсягів поставок [67-68].

Слід зазначити, що є певна специфіка, яка виникає при доставці зернових до портів. Це проявляється насамперед у технологічних аспектах транспортування. Залізниця є основним транспортом, який доставляє вантажі до українських морських портів. Проте значний дефіцит спеціалізованих залізничних вагонів зерна сформував ситуацію, коли автомобільні перевізники здійснюють доставку зерна на великі відстані вантажними автомобілями. Велика собівартість транспортування вантажним транспортом підвищує експортні ціни на зерно, що негативно впливає на конкурентоспроможність вітчизняної сільськогосподарської продукції на світових ринках.

З іншого боку, використання великої кількості зерновозів створює багато технологічних проблем, особливо щодо забезпечення узгодженої роботи двох видів транспорту [69]. В першу чергу це пов'язано з практичними аспектами технічних можливостей перевалки зерна за прямим варіантом «автомобіль – судно».

#### **4. Методика навчання нечітких нейронних мереж при прогнозуванні обсягів доставки до місць взаємодії (перевалки) елементів ланцюга постачань**

Надійність функціонування ланцюга постачань безпосередньо залежить від надійності кожного елемента відповідно до проведених досліджень, а також якщо ланцюг постачання розглядається на основі принципів теорії систем. В цьому випадку, можна зменшити негативний вплив на процес доставки можливих збоїв окремих елементів системи під час транспортування сільськогосподарських вантажів. Для досягнення цих покращень необхідно вжити наступних заходів:

1. Необхідно розробити інноваційні моделі для прогнозування майбутніх обсягів сільськогосподарських перевезень. Організація процесу з точки зору технологічних аспектів буде вдосконалена за допомогою теорії нечіткої логіки [70] та елементів інтелектуальної технології, таких як нейронна мережа. Це допоможе спрогнозувати обсяги перевалки вантажів через порт або за допомогою системи блокчейн розробити гнучкий набір управлінських рішень у вантажоперевезеннях в умовах Індустрії 4.0 та 5.0 [71], особливо під час взаємодії двох видів транспорту в портах. при перевалці за прямим варіантом.

2. Розробити та впровадити сучасну систему підтримки управлінських рішень, яку доцільно використовувати для гнучкого прийняття рішень в оперативно-плановому періоді та під час безпосередньої доставки сільськогосподарської продукції. Ця система може підвищити якість управління транспортуванням і повинна бути розроблена відповідно до останніх тенденцій Industry4.0 та 5.0. Найкраще використовувати в цій ситуації спеціалізовані програмні продукти, які можуть прискорити процеси отримання раціональних наборів рішень. Особливо, якщо віртуальний комплекс здатний не тільки проводити певні розрахунки, а й моделювати процеси.

Ці дві основні дії покращать питання управління процесом транспортування сільськогосподарських вантажів. Крім того, вони також зменшують негативний вплив можливих збоїв системи доставки, що дозволить підтримувати показник надійності в ланцюгах поставок на необхідному рівні.

Як математичний інструмент предиктора обрано модель прогнозування з використанням нечітко-нейронних систем. Деякі елементи цього специфічного підходу можна знайти в паралельних дослідженнях [72-76].

На першому етапі нейронна мережа мала сім вузлів входів, які характеризували значення кожного дня тижня. В результаті обробки отримано набір вхідних даних для ідентифікації залежності  $y(k)$ . У

цьому випадку

початкові 1095 значень часового ряду були розділені на дві рівні частини. При

цьому половина з них буде вхідними даними для нечіткої нейронної системи, а друга частина – вихідними. Такий підхід дозволить на першому етапі навчити мережу «грубо». Часові діаграми обсягів вантажів наведено на рис.

4.

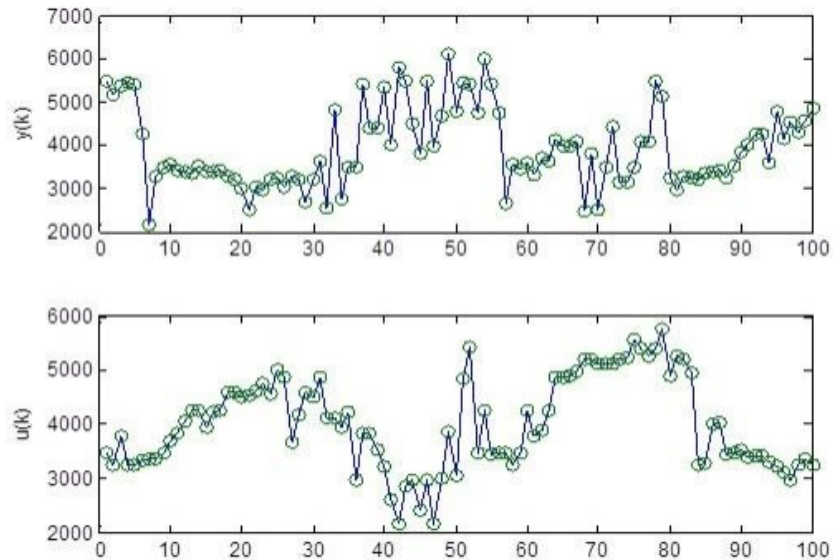


Рисунок 4. Часові діаграми вхідного значення об'єму зерна, обробленого в порту ( $y$ ), від вихідного значення тієї ж змінної ( $u$ ).

Експериментальні дані розділені на дві групи: для навчання ( $k = 1, \dots, 274$ ) і для тестування ( $k = 275, \dots, 548$ ). Це може допомогти обчислити кількість вхідних вузлів для майбутніх моделей прогнозу за допомогою моделі ARX. Для знаходження найкращої структури моделі було проведено повний пошук комбінацій  $[m, n, d]$ . Значення змінних  $[m, n, d]$  під час сортування змінювалися від 1 до 110 незалежно одне від одного (рис. 5).

Найкращу модель ARX отримують при таких значеннях структурних параметрів:  $[m, n, d] = [4, 4, 11]$ . Ця модель забезпечує таке значення квадратного кореня із середньої квадратичної помилки (RMSE): на вибірці навчання – 8,3, на вибірці тестування – 7,9.



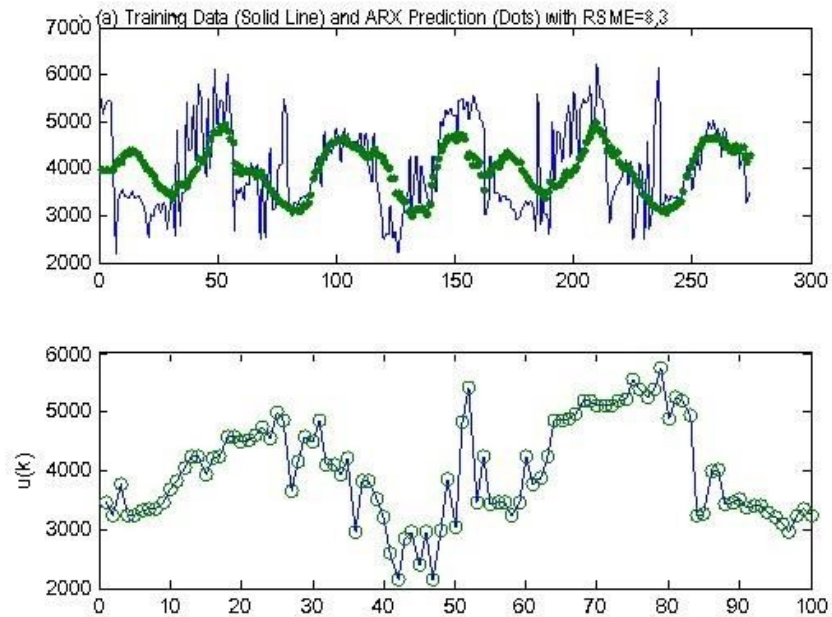


Рисунок 5. Визначення найкращої структури моделі ARX.

На рис. 6 наведено результати прогнозування обсягів доставки зернових вантажів до порту за допомогою моделі ARX. На цьому графіку безперервна блакитна лінія відображає експериментальні дані, а зелені точки – результати моделювання.

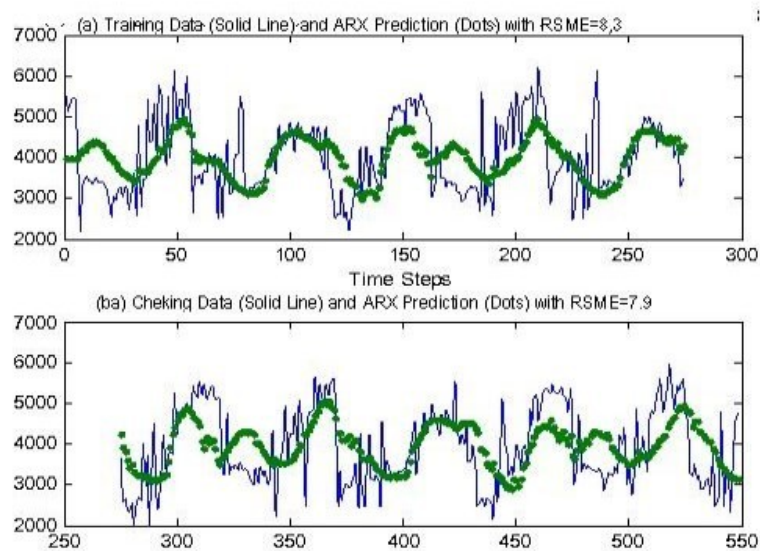


Рисунок 6. Порівняння експериментальних даних з результатами моделі ARX на вибірках навчання (вгорі) і тестування (внизу).

Для отримання більш точних результатів прогнозування використовується квазінейронне моделювання. Це необхідно для перевірки можливості забезпечити більшу точність ідентифікації на основі нечіткого логічного висновку.

Він використовуватиме евристичний підхід, заснований на так званому послідовному прямому пошуку (SFS). Цей метод допоможе вибрати вхідні змінні майбутньої моделі. Одна вхідна змінна була додана до моделі на кожному кроці для забезпечення мінімального значення середньої квадратичної помилки, коли такий пошук використовувався.

Результати пошуку відображені на рис. 7. Червоні кружечки – середні значення похибки на навчальній вибірці. Значення помилки у вибірці для тестування відображаються на цій графіці зеленими зірочками.

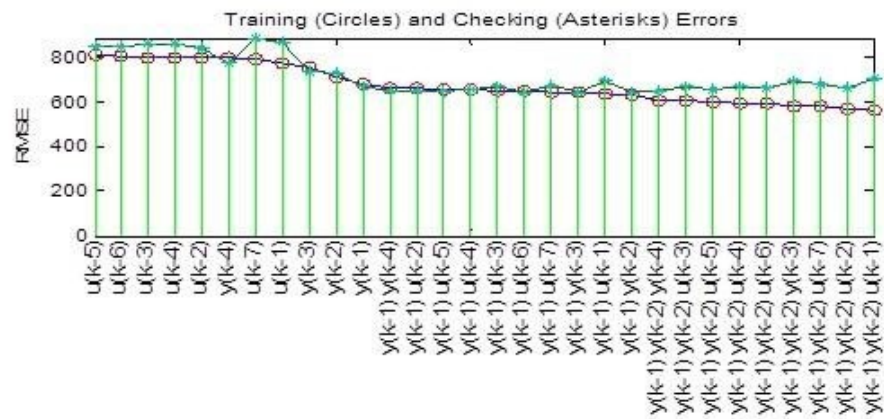


Рисунок 7. Вибір вхідних значень моделі методом послідовного прямого пошуку.

Порівняння запропонованих методів ідентифікації наведено в таблиці 3. Ідентифікація ARX є найшвидшою, але при цьому точність моделювання значно гірша, ніж для найповільнішого підходу ANFIS з використанням для відбору вхідних даних методом послідовного прямого пошуку. Тому вибір моделі ARX буде правильним для завдань, де основним критерієм є час ідентифікації. Використання технології моделювання ANFIS буде більш виправданим для вирішення задач визначення прогнозних значень обсягів, оскільки точність ідентифікації має мінімальну похибку, ніж при використанні евристичних методів

прогнозування.

Таблиця 3 - Порівняння методів ідентифікації

Метод ідентифікації	ARX	ANFIS з відбором за методом прямого послідовного пошуку
Кількість вхідних вузлів моделі	7	4
RMSE на навчальній вибірці	8,3	6.7
RMSE на тестовій вибірці	7.9	5.3

В результаті моделювання кількість вхідних вузлів нечітко-нейронної моделі ANFIS зменшилася з семи до чотирьох. При цьому перший вхідний показник включав значення понеділка та вівторка; другий вхідний параметр складається зі значень у середу; у третьому вхідному вузлу були сигнали значення об'єму як у четвер, так і в п'ятницю разом; у четвертому відповідно були значення перевантаження обсягів вантажів у вихідний день.

У результаті навчання прогнозовної моделі можна зробити висновок, що похибка отриманих значень становить 5,62% від фактичних сигналів. При цьому період навчання мережі становив 15 епох, що відповідає 3,56 с в еквіваленті машинного часу. Візуальне відображення керування гібридною мережею на навчальній вибірці представлено на рис. 8.

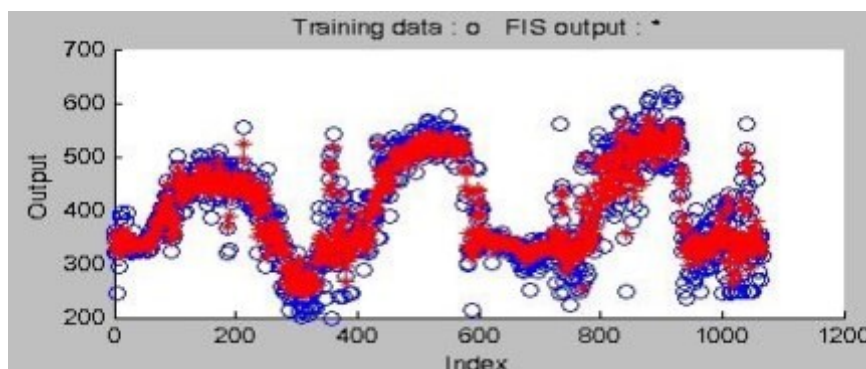


Рисунок 8. Керування гібридним алгоритмом на основі нейронної мережі за навчальною вибіркою

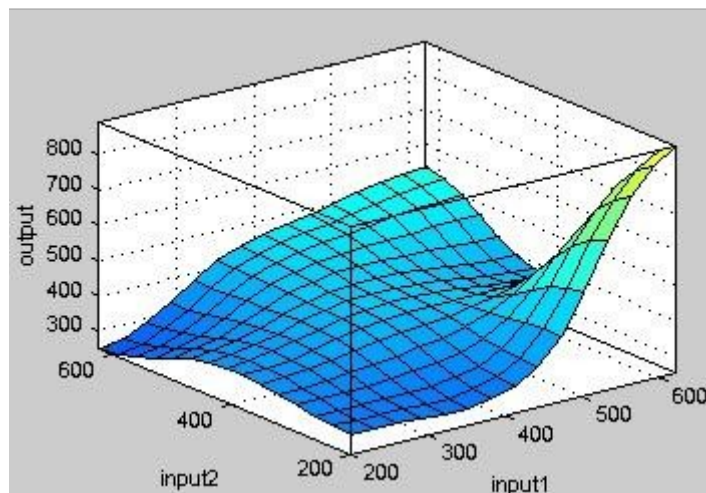
В результаті проектування гібридної системи було створено 81 правило відповідно з представленим раніше типом функцій належності та кількістю

вхідних вузлів. Для формування оптимального набору правил використовується генетичний алгоритм.

Як результат, це дозволяє зробити прогностичні моделі ще більш гнучкими для дуже змінних умов. Тому що система прогнозування вже буде спиратися не тільки на локальний екстремум, а й буде враховувати більш глобальні екстремуми обсягів доставки зерна в порт, які виходять за межі попередніх значень часового ряду.

Вибірка для тестування використовується для мінімізації помилки в предикторі та при повторному навчанні мережі. За результатами розрахунку похибка мережі на контрольній перевірці значень вантажів склала 4,492% емпіричних даних.

Залежність вхідних значень об'ємів зернових вантажів, закладених у систему предикторів, від вихідних змінних представлено наступною графічною інтерпретацією (рис. 9).

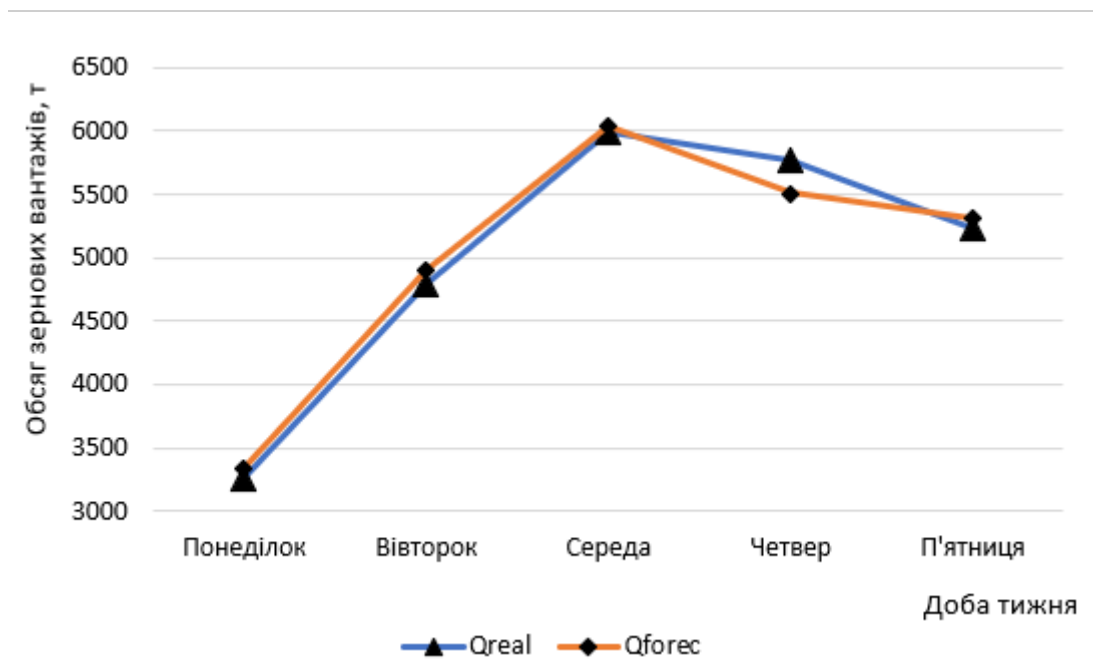


Примітки: Вхід 1 – значення об'єму зернових вантажів для навчальної вибірки,  $t \cdot 10$ ; Вхід 2 – значення об'єму зернових вантажів для навчальної вибірки,  $t \cdot 10$ ; Вихід – результати прогнозування,  $t \cdot 10$

Рисунок 9. Графічне відображення залежності вихідних значень моделі від вхідних факторів.

## 5. Результати перевірки запропонованих теоретико-методологічних основ взаємодії елементів ланцюга постачань при доставці сільськогосподарських вантажів

За результатами роботи гібридної мережі отримано сім прогнозних значень обсягів, які потенційно можуть бути доставлені в порт вантажівками. Його використовували для фактичного порівняння обсягів і перевірки адекватності результату прогнозу за новими значеннями вантажопотоку зерна в порту (рис. 10).



Примітки:  $Q_{real}$  - емпіричні (реальні) вхідні обсяги зернових вантажів, тонн; Прогноз  $Q_{forec}$  (fuzzy-neural model) обсягів введення зернових вантажів, тонн.

Рисунок 10. Залежності емпіричного (реального) та прогнозного (нечітко-нейронна модель) обсягів надходження зернових вантажів у порт

Як бачимо з рисунка 10, похибка прогнозу в фізичних одиницях навіть менша, ніж у зображеній моделі. Що ще раз підтвердило наближеність та

доцільність використання даного алгоритму для отримання майбутніх значень

обсягів перевантаження такого сезонного виду вантажу, як зерно.

При цьому найменша похибка спостерігається при великих значеннях обсягів перевантаження вантажів. Цей факт свідчить про те, що при постійному вантажопотоку рідко виникають коливання. Тому похибка прогнозу практично відсутня.

### **5.1 Врахування практичних аспектів, які виникають під час взаємодії елементів ланцюга постачань при доставці сільськогосподарських вантажів**

Отримані прогнозні значення дозволяють спланувати роботу перевантажувальних механізмів і автотранспорту, який транспортуватиме зерно до портів. Вибір механізмів перевалки при цьому здійснюється виходячи з технічних параметрів. В першу чергу слід враховувати годинну продуктивність механізму перевантаження. Цей показник буде впливати на наступні аспекти логістичних процесів:

- час обслуговування морського судна (простій під завантаженням);
- кількість зерновозів, необхідних для забезпечення сумісної роботи автотранспорту та засобів механізації;
- кількість одночасно використовуваних вантажних мобільних навантажувачів;
- добові обсяги відвантаження, тобто місткість причалів.

Механізми повинні мати ще одну особливість. Це їх мобільність. Ця характеристика особливо важлива при обслуговуванні кількох суден протягом короткого часу.

Навчена нейронна мережа [77] була використана для прогнозування обсягів зерна, яке імпортується в порт до прибуття судна. Обсяг вибірки для експерименту становив шість суден вантажопідйомністю до 40 тис. тонн.

Прогнозні значення дуже важливі для прийняття своєчасних управлінських рішень, які мають узгоджуватися з політикою Індустрії 4.0 та 5.0. Рекомендується передбачати логістичні нюанси в порту при перевалці вантажів з одного виду транспорту на інший, виходячи з трьох основних факторів, пов'язаних з потужностями порту (терміналу):

- Оцінка максимальної пропускної спроможності порту у вантажівках на годину відповідно до технічних особливостей інфраструктури;
- Визначення необхідної пропускної спроможності порту у вантажівках на годину на основі злагодженої взаємодії транспортних засобів і перевантажувальних механізмів;
- Розрахунок фактичної пропускної спроможності порту у вантажівках за годину за результатами прогнозу обсягів перевантаження вантажів за нечітко-нейронною моделлю.

## **5.2 Оцінка максимальної пропускної спроможності порту у вантажівках на годину відповідно до технічних особливостей інфраструктури**

Кількість вантажівок визначається виходячи з технічних аспектів відповідно до максимальної кількості транспортних засобів, які можуть прийняти зони порту за годину роботи. У цьому плані приклад українського морського порту є одним із найбільших за кількістю обслуговуваних вантажівок. Портові термінали можуть обслуговувати максимум 240 зернових автопоїздів на добу відповідно до максимальної потужності. Для порівняння, кількість залізничних вагонів зерна становить 100 вагонів за 24 години, які може обслуговувати цей порт.

Це дослідження призначено для визначення обмеження пропускної спроможності порту при прийнятті управлінських рішень. Передбачається, що вантажівки прибувають у порт рівномірним потоком. Перевантаження зерном відбувається при 8-годинному робочому дні. Тому розрахунок



ПОГОДИННИХ

потужностей згідно технічних обмежень порту здійснюється за наступною залежністю:

$$CAP_{tech}^{hour} = \frac{CAP_{tech}^{max}}{T_{work}^{port}}, \quad (6)$$

де  $CAP_{tech}^{max}$  – максимальна пропускна спроможність порту у вантажівках на добу відповідно до технічних аспектів навантажувальної інфраструктури, вантажівок/добу;

$T_{work}^{port}$  – час роботи перевантажувальних механізмів у порту за тривалість роботи робітника, год.

Ця умова свідчить про те, що протягом години в порту можна обслуговувати не більше 30 зернових автопоїздів. Цей нюанс буде використано при визначенні раціональних напрямків управлінських рішень щодо організації правильної логістики в порту.

### **5.3 Визначення необхідної пропускної спроможності порту у вантажних автомобілях за годину на основі скоординованої взаємодії транспортних засобів і перевантажувальних механізмів**

Для злагодженої роботи перевантажувальних механізмів і транспортних засобів необхідно виконати наступну умову:

$$INTERVAL = OPERATION RHYTHM, \quad (7)$$

де  $INTERVAL$  – інтервал часу прибуття вантажівок до порту, вантажівок/год.;

$OPERATION RHYTHM$  – ритмічність роботи перевантажувальних механізмів, опер./год.

Слід зазначити, що ключову роль у визначенні необхідної кількості вантажівок, які обслуговують порт, відіграють два параметри. Це вантажопідйомність зерновозів-автопоїздів і годинна продуктивність перевантажувальних механізмів. Виведено математичну залежність для визначення необхідної пропускної здатності порту з урахуванням умов безперебійної роботи:

$$TRANSCAP_{oper}^{total} = \sum_{i=1}^k N_i^{mech} TECHCAP_i^{mech} K_i^{ustime}, \quad (8)$$

де  $N_i^{mech}$  – кількість перевантажувальних механізмів і-го типу, од.;

$TECHCAP_i^{mech}$  – технічна вантажопідйомність перевантажувальних

механізмів і-го типу, т/год.;

$K_i^{ustime}$  - коефіцієнт часу роботи з використанням і-го типу перевантажувальних механізмів, які завантажують судно, відсотків.

Поверхня розподілу кількості транспортних засобів побудована за результатами розрахунків за формулами (7) і (8) для забезпечення злагодженої роботи між елементами ланцюгів поставок зерна до портів (рис. 11).

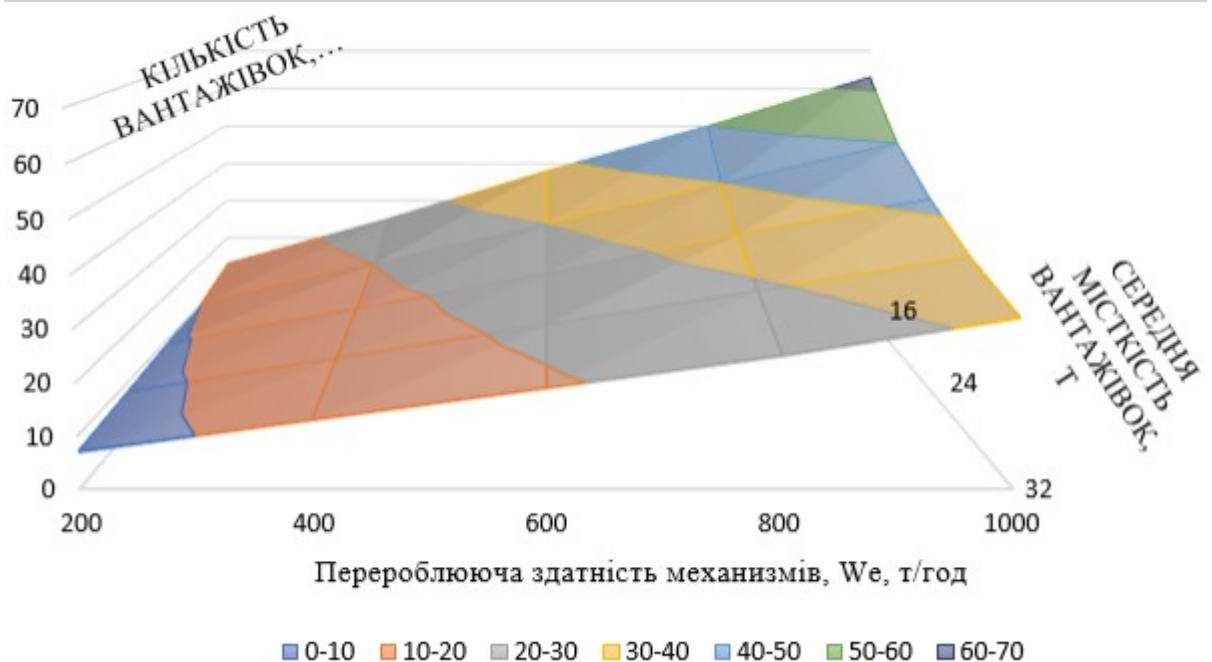


Рисунок 11. Залежність пропускної спроможності порту

Результати емпіричних спостережень з використанням механізмів і вантажних автомобілів, які працюють для перевалки зернових вантажів на судна, було використано для побудови поверхні розподілу необхідних портових місткостей в автомобілях.

#### 5.4 Розрахунок фактичної пропускної спроможності порту у вантажівках за годину за результатами прогнозу обсягів перевантаження вантажів за нечітко-нейронною моделлю

Найважливішим параметром є фактична пропускна здатність порту у вантажівках. Даний фактор допомагає розробляти гнучкі рішення для прийняття рішень щодо управління часом під час процесів перевалки вантажів у порту. Цей показник визначається за результатами прогнозування (рис. 10), отриманими з навченої нечіткої нейронної мережі.

Перетворення класичної залежності використовується в даному випадку для розрахунку фактичної пропускної спроможності порту, щоб знайти значення цього показника у вантажівках на годину. Остаточна формула представлена наступною залежністю:

$$CAP_{fuzzy-neural}^{hour} = \frac{Q_{forec}}{T_{unload}^{idle} \cdot TRANSCAR_{per}^{total} \cdot K_{uneven}^{arrival}}, \quad (9)$$

де  $Q_{forec}$  – прогнозні обсяги, отримані за допомогою нечітко-нейронної моделі, т;

$T_{unload}^{idle}$  – час простою автомобіля під розвантаженням, год;

$K_{uneven}^{arrival}$  – коефіцієнт нерівномірності прибуття транспортних засобів у порт.

Коефіцієнт нерівномірності прибуття транспортних засобів у порт визначали за статистичними даними. Він має середнє значення, розподілене в інтервалі 1,1-1,8.

## **6 Створення гнучкого модуля прийняття управлінських рішень на основі одночасного використання результатів прогнозування нейронно-нечіткої моделі та параметрів технологічної та техніко-економічної взаємодії елементів ланцюга постачань**

На основі розрахунку залежностей (6), (8) і (9) моделювалося значення пропускної спроможності порту у вантажних автомобілях для різних умов. Результати розрахунків представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Результати розрахунку пропускної здатності порту за різними аспектами

Максимальна пропускна спроможність порту у вантажівках, авто/год	Необхідна пропускна спроможність порту у вантажівках, авто/год	Фактична пропускна спроможність порту у вантажівках, авто/год
30	13	28
30	25	33
30	38	34
30	50	26
30	63	23

Графік пропускної спроможності порту був розроблений, щоб знайти залежність для різних умов від загальної вантажопідйомності перевантажувальних механізмів за годину (рис. 12) та визначити область прийняття управлінського рішення.

Логістичні оператори повинні використовувати заштриховану область для розробки рішень управління, яка обмежена трьома кривими, які описують роботу порту на основі різних умов.

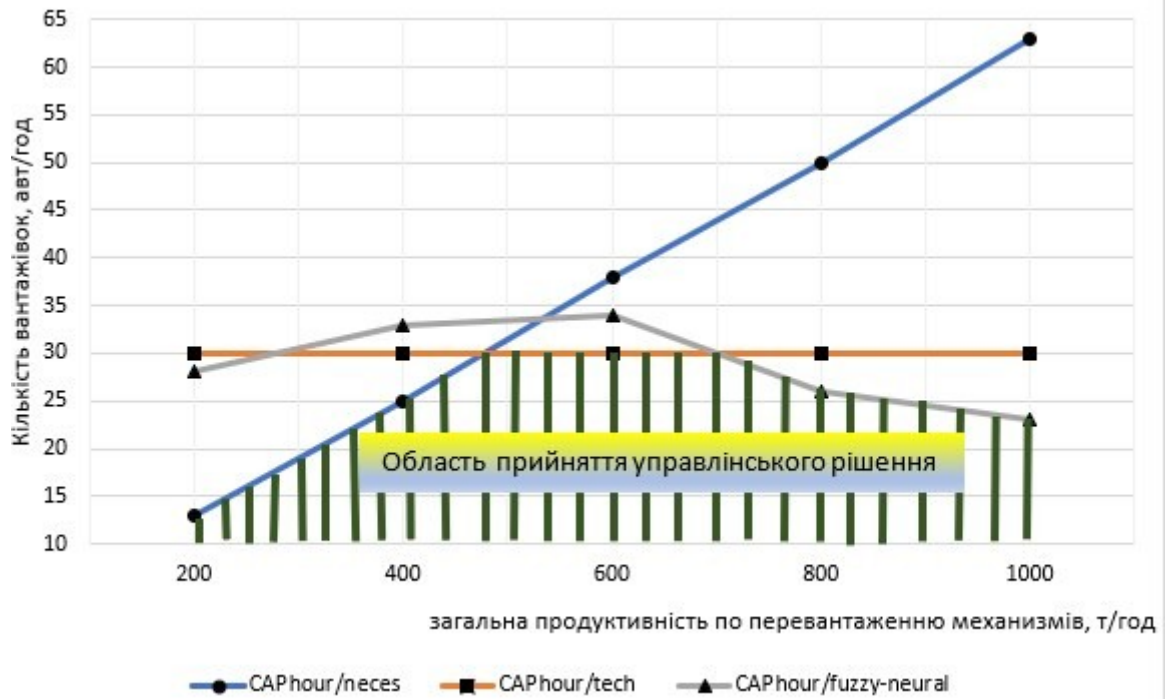


Рисунок 12. Схема пошуку зони прийняття управлінського рішення.

Систему прийняття рішень щодо кількості обслуговуваних вантажних автомобілів у конкретний час операції перевантажувального фронту математично можна представити наступним чином:

$$\begin{aligned}
 & \text{MAN DEC}(Q_{trucks}) = \min \left( \begin{aligned} & CAP_{tech}^{hour}, \text{ technical condition} \\ & CAP_{neces}^{hour}, \text{ technological condition} \\ & CAP_{fuzzy-neural}^{hour}, \text{ actual condition} \end{aligned} \right), \quad (10)
 \end{aligned}$$

де  $\text{MAN DEC}(Q_{trucks})$  – прийняття управлінських рішень щодо логістичних аспектів функціонування порту на основі максимально потенційних кількостей вантажівок, які можуть обслуговуватися в порту протягом години, вантаж./год.

Управлінські рішення за цією методологією дозволяють розподіляти ресурси порту та перевізника таким чином, щоб мінімізувати втрати часу та фінансових ресурсів. Такий підхід повністю корелює з концепцією Industry





та перспективної 5.0, щодо раціонального розподілу ресурсів для досягнення максимально можливого прибутку при збереженні високої ефективності виробничих процесів.

## ВИСНОВКИ

За результатами дослідження проведено обґрунтування розподілу управлінських рішень щодо формування раціональної структури парку автомобілів виходячи з характеру невизначеності вхідних параметрів. Всього виділено сім рівнів. Для вироблення коректного управлінського рішення обґрунтовані значення вхідних факторів у вигляді набору лінгвістичних змінних. Під розроблений набір нечітких термів, які характеризують рівні невизначеності кожного з вхідних факторів буде проведена настройка функцій приналежності. Вони допоможуть побудувати універсальний простір з пошуку раціонального управлінського рішення при організації доставки зерна в морський термінал. Подібний підхід знімає фактор невизначеності прийнятого рішення при оперативному періоді планування перевізного процесу, що гарантує прийняття коректного управлінського впливу на систему в умовах швидкоплинної ситуації. В якості подальшого напрямку дослідження, крім розробки простору нечітко визначених вхідних параметрів, буде виконаний прогноз попиту на перевезення зерна в кожен період на основі нейронних мереж.

За результатами дослідження представлено методологію прийняття управлінських рішень щодо організації логістичних аспектів у порту. Підхід враховує особливості технічної організації фронтів перевантаження, технологічні аспекти під час взаємодії двох видів транспорту, а також результати прогнозування, отримані з нечіткої нейронної моделі. Отримані результати прогнозу обсягів перевалки мають меншу середню похибку (не більше 4,49%) за рахунок використання системи самонавчання ANFIS, ніж при використанні імовірнісних методів.

Методологія показала переваги прийняття управлінських рішень, оскільки використовується фактичний розрахунок кількості вантажівок, які постачатимуть зерно в порт. Таким чином, планування за цим показником дозволяє раціонально розподілити ресурси порту, що відповідає виробничій

політиці Індустрії 4.0 та 5.0.

Представлений напрямок управлінських рішень дозволяє в наступних дослідженнях розробити технологічні аспекти, при яких логістика функціонування елементів порту буде найбільш оптимальною. Це, по-перше, скоротить час обслуговування суден, який не перевищуватиме 2-3 діб. Це відповідає світовим стандартам і покращить ефективність ланцюга постачань у цілому.

Наступним кроком дослідження буде визначення розумного часу перебування суден у порту під час завантаження з урахуванням прийняття управлінських рішень на основі представленої методології.

Дослідження буде спрямоване на скорочення часу обслуговування суден не тільки шляхом організації на високому рівні взаємодії двох видів транспорту для забезпечення перевантаження зерна за прямим варіантом, але й шляхом визначення необхідних запасів зерна на портових елеваторах, які повинні забезпечити завантаження судна в безперервному режимі.

## Перелік джерел посилання

1. Muzylyov DA, Kravcov AG, Karnayh NV, Berezhnaja NG & Kutiya OV, "Development of a methodology for choosing conditions of interaction between harvesting and transport complexes", Eastern European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2, No.3, (2016), pp.11–21.  
<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65670>.
2. Музылев Д. Критерий выбора рациональной технологии доставки сельскохозяйственных грузов [Текст] / Д. Музылев, Н. Карнаух, Н. Бережная, О. Кутья // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 17, №7. – Lublin – Rzeszow, 2015. – С. 67 73.
3. "The transportation of grain", Envision freight, A roadmap of freight compatibility, USA, (2010), available online:  
<http://www.envisionfreight.com/value/pdf/Grain.pdf>, last visit:15.06.2016.
4. Association of Canadian Port Authorities "An Overview of the Western Grain Handling and Transportation System", Annual Meeting, Thunder Bay, September 8, 2016. – Report in PowerPoint (format of presentations).
5. Moroz, M.M., 2015. Defining the term and the volume of investments on reduction to necessary structure of rolling stock of passenger public transport (Kremenchuk city case study) // Actual Problems of Economics, Vol. 166 (4), pp. 235–243.
6. Тихоненко О. Ю. Ефективність використання автомобільного та тракторного транспорту на перевезенні зерна під час збирання зернових культур. – М.: Транспорт, 2008. – 142 с.
7. Ocotlán Díaz-Parra, Jorge A. Ruiz-Vanoye, Beatriz Bernábe Loranca, Alejandro Fuentes-Penna, and Ricardo A. Barrera-Cámara, "A Survey of Transportation Problems", Journal of Applied Mathematics, Vol.2014, Article ID 848129, (2014), pp:1-17, <http://dx.doi.org/10.1109/MMM.2013.2248651>.
8. R. Ghanbari and N. Mahdavi-Amiri, "Solving bus terminal location problems using evolutionary algorithms," Applied Soft Computing Journal, vol. 11, no. 1, (2011), pp. 991–999, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.01.019>.

9. Moroz, O.V. and Moroz, M.M., 2014. Specific features of city public transport financing (Kremenchuk case study). *Actual Problems of Economics*, 160(1), pp. 239–246.
10. B. O. Øvstebø, L. M. Hvattum, and K. Fagerholt, “Optimization of stowage plans for RoRo ships,” *Computers and Operations Research*, vol. 38, no. 10, pp. 1425–1434, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.01.004>.
11. Spiliotopoulou E, Donohue K & Gürbüz MÇ, "Information reliability in supply chains: the case of multiple retailers", *Production and Operations Management*, Vol.25, No.3, (2016), pp.548-567, <https://doi.org/10.1111/poms.12418>.
12. Shramenko NY, "Methodology for evaluation of synergy effect in terminal cargo delivery system", *Actual Problems of Economics*, No.8(182), (2016), pp.439-444.
13. Орда О. О. Модель синхронізації технолого-логістичних параметрів інтермодальних контейнерних перевезень в ланцюгах постачань / О. О. Орда, Є. В. Нагорний // *International academy journal Web of Scholar: RS Global Media*. – 2017. – № 6(15). – С. 10–15.
14. M. Postan, L. Kushnir, "A method of determination of port terminal capacity under irregular cargo delivery and pickup", *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No.3(82), (2016), pp.30–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.76285>.
15. Butko T., Prokhorchenko A., Golovko T., Prokhorchenko G. "Development of the method for modeling the propagation of delays in noncyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.3 (91), (2018), pp. 30-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123141>.
16. Lomotko, D., Kovalov, A. and Kovalova, O., 2015. Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies [e-journal]*, 6(3(78)), pp. 11–17. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54496>.

17. A. Shkliar, A. Isayev, D. Yagello, A. Tovstopyat, P. Rudenko, I. Bakhareva, "Ukraine –Agricultural Trade, Transport, and Logistic Advisory Services Activity, Centre for transport strategies, (2014), P.64, available online: [http://mtu.gov.ua/files/for\\_investors/Ukraine%20Agricultural%20Trade%20Transport%20and%20Logistic.pdf](http://mtu.gov.ua/files/for_investors/Ukraine%20Agricultural%20Trade%20Transport%20and%20Logistic.pdf).

18. Shramenko, N. Y, "The methodological aspect of the study feasibility of intermodal technology of cargo delivery in international traffic", Scientific Bulletin of National Mining University, Vol. 4, No.(160), (2017), pp.145–150.

19. UkrAgroConsult, "Ukraine. Investments to port logistics continue", UkrAgroConsult, (2018), available online: <http://www.blackseagrain.net/novosti/ukraine-investments-to-port-logistics-continue>.

20. Mes, M. R., & Iacob, M.-E. (2016). Synchronodal transport planning at a logistics service provider logistics and supply chain innovation (pp. 23–36). Cham: Springer

21. Oonk, M. (2014). Smart logistics corridors and the benefits of intelligent transport systems. Paper presented at the Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment, Paris.

22. Raap, W. B., Iacob, M.-E., van Sinderen, M., & Piest, S. (2016). An architecture and common data model for open data-based cargo-tracking in synchronodal logistics. Paper presented at the OTM Confederated International Conferences “On the Move to Meaningful Internet Systems”.

23. Bhattacharya, A., Kumar, S. A., Tiwari, M., & Talluri, S. (2014). An intermodal freight transport system for optimal supply chain logistics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 73–84.10.1016/j.trc.2013.10.012.

24. Shramenko N.Y, "Evaluation of the effectiveness of piggyback traffic in the context of creating transport and logistics clusters", Scientific Bulletin of National Mining University, Vol.6, No.(162), (2017), pp.151-155.

25. Yu. Kruk, M. Postan, "Development and analysis of dynamic optimization model of transport flows interaction at port terminal", *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.3(79), (2016), pp.19–23, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.61154>.

26. Nossack, J., "Operational planning problems in international freight transportation". Ser. 5 "European University Studies", Vol. 3431. (2013), Berlin: Peter Lang International Academic Publishers, P.136.

27. Eirini Spiliotopoulou, Karen Donohue, Mustafa Çagri Gürbüz, "Information Reliability in Supply Chains: The Case of Multiple Retailers", *Special Issue on Multi-Methodological Research In Production And Operations Management*, Vol. 25, No.3, (2015), pp.548–567, <https://doi.org/10.1111/poms.12418>.

28. An Caris, Cathy Macharis, Gerrit K. Janssens "Planning Problems in Intermodal Freight Transport: Accomplishments and Prospects", *Journal Transportation Planning and Technology*, Vol. 31, No.3, (2008), pp.277–302, <https://doi.org/10.1080/03081060802086397>.

29. Shramenko NY, "Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost", *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol.5/3(77), (2015), pp.43-47, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51396>.

30. Tong R.M. The construction and evaluation of fuzzy models.- In: *Advances in fuzzy set theory and applications / Ed. By Gupta M.M., Ragade R.M., Jager R.R.* - Amsterdam: North-Holland, 1979. - P. 559-575.

31. Shramenko, N., Muzylyov, D. and Karnaukh, M. (2018) 'The principles of the choice of management decisions based on fuzzy logic for cargo delivery of grain to the seaport', *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, Vol. 7 No. 4.3, pp.211 - 216.

32. Прохорченко А.В. Удосконалення роботи пасажирської технічної станції на основі технології оперативного регулювання складового утворення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.20



“Експлуатація та ремонт засобів транспорту” / А.В. Прохорченко. – Харків, 2008. – 20 с.

33. Нагорный, Е.В. Методика проектирования виртуальных маршрутов при перевозке товаров народного потребления в городах / Е.В. Нагорный, Д.А. Музыльёв, А.С. Черепаха // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2012. – Вып. 56. – С. 151–156.

34. Музыльов Д.О. Принципи створення віртуальної програми для моделювання перевізного процесу сільськогосподарських вантажів на платформі Java / Д.О. Музыльов, В.А. Гречененко, А.В. Лимаренко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків : ХНТУСГ, 2017. – № 8. – С. 226-236.

35. Нагорный Е. В. Постановка задачи разработки модели поддержки принятия решений субъектами транспортных рынков / Е. В. Нагорный, Д. А. Музыльёв, А. С. Черепаха // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков : ВЕЖПТ, 2011. Т. 6. С. 21-23.

36. Ukrainian Ports. Analytic online reports - Available at: <https://ports.com.ua/uk/analytics/gruzooborot-portov-2019-2021-infografika>

37. Zinchenko, S., Hvastovich, V.: Improving Methodology Organizations of Object Repair Transportation and Technological System of the Sea Ports. Transport Development 2(3), 127-139 (2018).

38. Azarova, I.: Complex Odessa Sea Port Estimation on the Sustainable Development Concept Basis. Transport Development 2(3), 75-89 (2018).

39. Muzylyov, D., Kravcov, A., Karnayh, N., Berezhnaja, N., Kutiya, O.: Development of a Methodology for Choosing Conditions of Interaction Between Harvesting and Transport Complexes. Eastern European Journal of Enterprise Technologies 2(3), 11 21 (2016), doi: 10.15587/1729-4061.2016.65670.

40. Varela, M. L. R., Putnik, G. D., Manupati, V. K., Rajyalakshmi, G., Trojanowska, J., Ma-chado, J.: Integrated process planning and scheduling in

networked manufacturing systems for I4.0: A review and framework proposal. *Wireless Networks* (2019), doi: 10.1007/s11276-019-02082-8

41. Saniuk, S., Saniuk, A., Cagáňová, D.: Cyber Industry Networks as an environment of the Industry 4.0 implementation. *Wireless Networks*, (2019). doi: 10.1007/s11276-019-02079-3.

42. Haykin, S.: *Neural networks, a comprehensive foundation*. Macmillan College Publishing Company, N.Y. (1994).

43. Husar, J., Knapcikova, L., Balog, M.: Implementation of material flow simulation as a learning tool. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 33-41. Springer, Cham (2019), doi: 10.1007/978-3-319-93587-4\_4.

44. Horňáková, N., Jurík, L., Hrablík Chovanová, H., Cagáňová, D., Babčanová, D.: AHP method application in selection of appropriate material handling equipment in selected industrial enterprise. *Wireless Networks*, (2019). doi: 10.1007/s11276-019-02050-2.

45. Kotliar, A., Basova, Y., Ivanov, V., Murzabulatova, O., Vasytsova, S., Litvynenko, M., Zinchenko, O. Ensuring the economic efficiency of enterprises by multi-criteria selection of the optimal manufacturing process. *Management and Production Engineering Review* 11(1), 52-61 (2020), doi: 10.24425/mper.2020.132943.

46. Švač, V., Cagáňová, D.: Managerial Skills for Innovation Support. *Mobile Netw Appl* (2020). doi: 10.1007/s11036-020-01517-3.

47. Kirichenko, A., Lahmetkina, Yu.: Multimodal Container Transportation of Grain. *World of Transport*. *World of Transport* 13(1), 166-125 (2015).

48. Delli, U., Sinha, A.K.: Parallel computation framework for optimizing trailer routes in bulk transportation. *J Ind Eng Int*, 15, 487–497 (2019). doi: 10.1007/s40092-019-0308-8.

49. Gorshkova, O.O.: Modernization of Transport Management System upon Conveyance of Bulk Goods. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(3), 659–662 (2020). Available Online at <http://www.warse.org/IJETER/static/pdf/file/ijeter08832020.pdf>, doi: 10.30534/ijeter/2020/08832020.
50. Buchari, E., Putranto, D. D. A., Rahman, A.: (2017). Analysis of Model Loading and Un-loading Time of Ships at Boom Baru Port, Palembang, Indonesia. In: 6th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum, pp. 1–9. EDP Sciences, MATEC Web of Conferences, 138, 07012 (2017).
51. Grebenişan, G., Salem, N., Bogdan, S.: An approach of classification and parameters estimation, using neural network, for lubricant degradation diagnosis. In: Annual Session of Scientific Papers IMT ORADEA 2018, pp. 1–6. EDP Sciences, MATEC Web of Conferences, 184, 07009 (2018).
52. Uyar, K., İlhan, Ü., İlhan, A.: Long Term Dry Cargo Freight Rates Forecasting by Using Recurrent Fuzzy Neural Networks. *Procedia Computer Science* 102, 642–647 (2016).
53. Sari, N., Mahmudy, W., Wibawa, A., Sonalitha, E.: Enabling External Factors for Inflation Rate Forecasting Using Fuzzy Neural System. *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 7(5), 2746~2756 (2017).
54. López, I., López, M., Iglesias, G.: Artificial Neural Networks Applied to Port Operability Assessment. *Ocean Engineering* 109, 298–308 (2015).
55. Bal Beşikçi, E., Arslan, O., Turan, O., Ölçer, A.I.: An Artificial Neural Network Based Decision Support System for Energy Efficient Ship Operations. *Computers & Operations Research* 66, 393–401 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.04.004>.
56. Gökkus, U., Yildirim, M.S., Aydın, M.M.: Estimation of Container Traffic at Seaports by Using Several Soft Computing Methods: A Case of Turkish Seaports. *Discrete Dynamics in Nature and Society* Volume 2017, 1–15 (2017). doi: 10.1155/2017/2984853.

57. Veerachai Gosasang, Watcharavee Chandraprakaikul, Supaporn Kiattisin.: A Comparison of Traditional and Neural Networks Forecasting Techniques for Container Throughput at Bangkok Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 27(3), 463-482 (2011). doi: 10.1016/S2092-5212(11)80022-2.
58. Shramenko, N., Pavlenko, O., Muzylyov, D.: Information and Communication Technology: Case of Using Petri Nets for Grain Delivery Simulation at Logistics System, *CEUR Work-shop Proceedings*, 2353, 935-949 (2019). - Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2353/paper74.pdf>.
59. Nie, S., Zhong, Y., Hu, M.: Short-time Traffic Flow Prediction Method Based on Universal Organic Computing Architecture. In: *Proceedings of the 2012 2nd International Conference on Computer and Information Application (ICCIA 2012)*, pp. 1226-1229. Atlantis Press, Paris, France (2012).
60. Zhizhen Chen, Taoying Li.: Port Cargo Throughput Forecasting Based on Combination Model. In: *Proceedings of the 2016 Joint International Information Technology, Mechanical and Electronic Engineering*, pp. 148-154. Atlantis Press, Paris, France (2016). <https://doi.org/10.2991/jimec-16.2016.25>.
61. Medvedev, V., Potemkin, V.: *Neural networks. MATLAB 6. Dialogue-MIFI*, Moscow (2002).
62. Kizim, N.A., Yastremskaya, E.N., Senchucov, V.F.: *Neural networks: theory and practice of application. Monograph. PH "INZHEK"*, Kharkiv (2006).
63. Wang, W., Baumann, M., & Jiang, X. (Eds.). (2020). *Green, Smart and Connected Transportation Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*. doi:10.1007/978-981-15-0644-4.
64. Shramenko, N., Muzylyov, D., Shramenko, V.: Methodology of costs assessment for customer transportation service of small perishable cargoes. *Int. J. Business Performance Management*, Vol. 21, No. 1/2, pp. 132-148 (2020). doi: 10.1504/IJBPM.2020.10027632.
65. Aulin, V., Pavlenko, O., Velikodnyy, D., Kalinichenko, O., Zielinska, A., Hrinkiv, A., Diychenko, V., Dzyura, V.: Methodological approach to estimating

the efficiency of the stock complex facing of transport and logistic centers in Ukraine. Proceedings Paper 1st In-ternational Scientific Conference on Current Problems of Transport. ICCPT 2019: Current Problems of Transport, pp. 120-132, doi: 10.5281/zenodo.3387516

66. Muzylyov, D., Shramenko, N., Shramenko, V.: Integrated business-criterion to choose a ra-tional supply chain for perishable agricultural goods at automobile transportations. *Int. J. Business Performance Management*, Vol. 21, No. 1/2, pp. 166-183, (2020). doi: 10.1504/IJBPM.2020.10027634.

67. Kumar, A., Kaur, A., Kaur, M.: Fuzzy Optimal Solution of Fuzzy Transportation Problems with Transshipments. In: Kuznetsov S.O., Ślęzak D., Hepting D.H., Mirkin B.G. (eds) *Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining and Granular Computing. RSFDGrC 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6743, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 167 170 (2011). doi.org/10.1007/978-3-642-21881-1\_27.

68. Kaur, A., Kacprzyk, J., Kumar, A.: (2020) New Improved Methods for Solving the Fully Fuzzy Transshipment Problems with Parameters Given as the LR Flat Fuzzy Numbers. In: *Fuzzy Transportation and Transshipment Problems. Studies in Fuzziness and Soft Compu-ting*, vol 385. Springer, Cham, pp. 103-144 (2020). doi: 10.1007/978-3-030-26676-9\_6.

69. Mehmman, J., Teuteberg, F.: A Conceptual Framework of a Decision Support System for Operational Dispatching of Agricultural Bulk Goods – An Agent-Based Approach. In: Mül-ler J.P., Weyrich M., Bazzan A.L.C. (eds) *Multiagent System Technologies. MATES 2014. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8732, pp. 121-137 Springer, Cham (2014). doi: 10.1007/978-3-319-11584-9\_9.

70. Tryhuba, A., Bashynskyi, O., Medvediev, Ye., Slobodian, S., Skorobogatov, D.: Justifica-tion of models of changing project environment for harvesting grain, oilseed and legume crops. *Independent Journal of Management & Production (IJM&P)*. Special Edition PDATU 10(7), 658-672 (2019). doi: 10.14807/ijmp.v10i7.922.

71. Muzylyov, D., Shramenko, N.: Blockchain Technology in Transportation as a Part of the Efficiency in Industry 4.0 Strategy. In: Tonkonogyi V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, pp. 216-225 (2020). doi: 10.1007/978-3-030-40724-7\_22.
72. Demuth, H., Beale, M.: Neural Network Toolbox for Use with MATLAB®. The Math-Works, Inc., (2014).
73. B. Lei, D. de Ridder, D. M. J. Tax, F. van der Heijden, G. Xu, M. Feng, Y. Zou.: Classification, Parameter Estimation and State Estimation an Engineering Approach Using MATLAB. Second Edition. JohnWiley & Sons, Ltd (2017).
74. Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H., O. De Jesús.: Neural Network Design. Second Edition. Ebook, (2014).
75. Simić, D., Simić, S.: A Review: Approach of Fuzzy Models Applications in Logistics. In: Burduk R., Kurzyński M., Woźniak M., Żoźnierek A. (eds) Computer Recognition Systems 4. Advances in Intelligent and Soft Computing, vol 95. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 717-726 (2011), doi: 10.1007/978-3-642-20320-6\_73.
76. Ren, Y., Wang, C., Li, B. et al. A genetic algorithm for fuzzy random and low-carbon integrated forward/reverse logistics network design. Neural Comput & Applic 32, 2005–2025 (2020). doi :10.1007/s00521-019-04340-4.
77. Shramenko, N., Muzylyov, D.: Forecasting of Overloading Volumes in Transport Systems Based on the Fuzzy-Neural Model. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 311-320, (2020), doi: 10.1007/978-3-030-22365-6\_31.