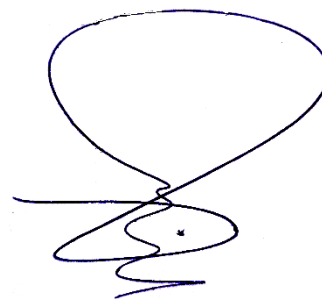


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РАХІМІ ЯШАР



УДК 004.891, 005.4

**НЕЧІТКА МЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ ТА МЕТОДИ ІНФОРМАЦІЙНОГО
ПІДТРИМУВАННЯ ПОВНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ТОВАРІВ
БАКАЛІЙНОЇ ГРУПИ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Черкаси – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" та кафедрі автомобілів та технології їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Підгорний Микола Володимирович,
декан факультету комп'ютеризованих технологій
машинобудування і дизайну Черкаського державного
технологічного університету (м. Черкаси)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Євланов Максим Вікторович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри інформаційних
управляючих систем
(м. Харків)

доктор технічних наук, професор
Мороз Борис Іванович,
Національний технічний університет «Дніпровська
політехніка», професор кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем (м. Дніпро)

Захист відбудеться «29» вересня 2021 р. о 12.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 73.052.04 у Черкаському державному технологічному університеті за адресою 18006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460, зал засідань, 1 корпус.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Черкаського державного технологічного університету за адресою: 18006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

Автореферат розіслано «28» серпня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., професор



Ю. Ю. Бондаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасному світі ефективність бізнес процесів на регіональному, національному та, загалом, на світовому рівнях, великою мірою залежить від якості організації логістичних систем. До такого типу систем відноситься і повний ланцюг постачання (ПЛП) товарів бакалійної групи, що являє собою складну соціо-економічну систему, яка складається із великої кількості постачальників сировини, фокусної компанії (переробка та пакування), складських терміналів, дистриб'юторів, митних брокерів, 3PL та 4PL-провайдерів, ритейлерів. Взаємодія поміж учасниками ПЛП являє собою множину неперервних матеріальних, фінансових та інформаційних потоків і послуг, від джерел вихідної сировини до кінцевого споживача. Різноманіття регіонів світу, з яких проводиться постачання, широка номенклатура продукції, врожайність культур, що є сировиною для виробництва, коливання курсів валют, митні тарифи, сезонність, обумовлюють високий рівень невизначеності у процесах формування та прийняття рішень учасниками ПЛП. За своєю природою, ПЛП є складною стохастичною системою, для функціонування якої характерні такі особливості: порівняно велика кількість незалежних учасників бізнес процесів; складний характер взаємодії (такий, що важко формалізується) поміж учасниками ПЛП, які часто є конкурентами; висока динаміка змін у середині системи; нестационарність більшості процесів, що мають місце при функціонуванні ПЛП.

Зазначені обставини визначають недостатню ефективність існуючих засобів інформаційної підтримки ПЛП, та обумовлюють необхідність їх модернізації за рахунок розширення концепції SCM (управління ланцюгами постачання), шляхом доповнення знання орієнтованими методами, для досягнення кон'юнктивного консенсусу поміж учасниками ПЛП.

Значний внесок у розвиток питань, пов'язаних із використанням інформаційних технологій та систем для управління життєвим циклом ПЛП, внесли такі вітчизняні і зарубіжні вчені: М.М. Полторацький, А.М. Кублій, Н.В. Ващенко, А.К. Покровський, О.М. Котлубай В.О. Зубенко, М. Крістофер, Дж. Сток, Д. Ламберт, Д. Уотерс, Дж. Клосс, Д. Бауерсокс, Дж. Менцер, К. Олівер, В. Сергєєв, О. Щепов та ін. Визначні результати в цьому напрямку отримані науково-дослідними центрами таких розробників як Dassault Systemes (Франція), Siemens PLM Software (Німеччина), Unigraphics (США) та ін. Поряд із цим, специфіка функціонування ПЛП не дозволяє безпосередньо задіяти відповідні стандартні засоби автоматизації процесів взаємодії учасників ланцюга, оскільки ці розробки не забезпечують ефективного вирішення всього комплексу задач інформаційної підтримки процесів в межах повного ланцюга. До того ж, наявність теоретичного базису у вигляді елементів теорії сіток Петрі, теорії часових тверджень та нечіткої математики надає змогу, шляхом теоретичного узагальнення, створити методичну основу для організації перевезень між елементами ПЛП в режимі «just-in-time». Тому існує нагальна потреба в подальшому дослідженні методів та засобів інформаційної підтримки процесів управління ПЛП, в частині забезпечення перевезень, з метою розробки спеціальної прикладної інформаційної технології. Таким чином, дисертаційна робота спрямована на розв'язання важливої науково-прикладної задачі, суть якої полягає у підвищенні ефективності

функціонування ПЛП за рахунок зниження невиробничих втрат, внаслідок відхилення від графіку поставок, шляхом розробки і впровадження технології інформаційної підтримки процесів перевезення вантажів в аспекті забезпечення режиму доставки «just-in-time».

Наведене вище свідчить про актуальність обраного напрямку дисертаційного дослідження та визначає тему роботи, її мету та задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація пов'язана із держбюджетними темами, що виконувалися на кафедрі інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» в період з 2015 по 2020 роки згідно з планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, а саме: «Створення методологічних основ інтеграції виробничих систем підтримки прийняття рішень в єдиний простір знань на підприємствах аерокосмічного профілю» (№ ДР 0115U000997), та «Розробка теоретичних основ розподіленого інтелектуального керування інвестиційними проектами і програмами реформування і розвитку машинобудівного комплексу України» (№ ДР 0115U003328) в яких здобувач брав безпосередню участь.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є підвищення ефективності функціонування повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи за рахунок створення технології інформаційної підтримки процесів управління матеріальними потоками в середині ланцюга на основі запропонованих моделей та методів обробки даних та знань про номенклатуру товарів, їх ліквідність та своєчасність доставки роздрібним реалізаторам.

Поставлена мета досягається вирішенням таких взаємопов'язаних завдань дослідження:

1. Провести аналіз існуючих систем управління повними ланцюгами постачання та інформаційних технологій, на яких вони базуються, виявити проблемні задачі реалізації процесів інформаційної підтримки життєвого циклу повних ланцюгів постачання та обґрунтувати задачі дослідження.

2. Розробити сітьову модель повного ланцюга постачання, яка б адекватно відображала ієрархічність ланцюга, а саме верхній його рівень (фокусну компанію по переробці вихідної сировини) та нижчі рівні, що відображають діяльність постачальників сировини та реалізаторів готової продукції.

3. Розробити метод подання часових залежностей поміж бізнес-процесами у повному логістичному ланцюзі постачання, який надавав би змогу виявляти відхилення у функціонуванні ланцюга й оцінювати критичність цих відхилень для дотримання принципу «just-in-time».

4. Синтезувати метод формування рішень щодо вибору раціонального маршруту транспортування в рамках повного логістичного ланцюга, який надав би змогу знизити рівень невизначеності щодо часових та фінансових витрат при функціонуванні ланцюга поставок.

5. Створити технологію інформаційної підтримки процесів функціонування повного логістичного ланцюга щодо вибору раціональних маршрутів доставки з урахуванням сукупності найбільш значущих факторів.

6. Провести промислово апробацію запропонованих моделей та методів, а також забезпечити їх впровадження у навчальний процес закладів вищої освіти.

Об'єкт дослідження – процеси інформаційної підтримки життєвого циклу повних ланцюгів постачання.

Предмет дослідження – моделі, методи та інформаційні технології підтримки функціонування повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи.

Методи дослідження: системний аналіз – для формалізації процесу функціонування повного логістичного ланцюга постачання; теорія мереж Петрі – для створення сітьової моделі повного логістичного ланцюга постачання; теорія часових тверджень - для адекватного представлення часових залежностей, що мають місце при функціонуванні повного логістичного ланцюга; нечітка математика – для наближення процесів обробки інформації про комплекс чинників, що впливають на функціонування повного логістичного ланцюга, до розмірковувань експертів; інженерія знань – розробки спеціалізованої оболонки експертної системи для обґрунтування раціональних маршрутів доставки товарів.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше розроблено модель повного логістичного ланцюга постачання у формі вкладеної мережі Петрі, що надає змогу відобразити ієрархічність ланцюга, а саме верхній його рівень (фокусну компанію по переробці вихідної сировини) та нижчі рівні, що відображають діяльність постачальників сировини та реалізаторів готової продукції;

– вперше розроблено метод подання часових залежностей поміж бізнес-процесами у повному логістичному ланцюзі постачання, що заснований на розширених часом вкладених мережах Петрі, та який надає змогу виявляти відхилення у функціонуванні ланцюга й оцінювати критичність цих відхилень для дотримання принципу «just-in-time»;

– удосконалено метод формування рішення щодо вибору раціонального маршруту транспортування в рамках повного логістичного ланцюга, з використанням нечіткої математики, та який, на відміну від відомих, надає змогу знизити рівень невизначеності часових та фінансових витрат при функціонуванні ланцюга поставок;

– дістали подальший розвиток прикладні інформаційні технології управління процесами транспортної логістики в частині розробки засобів підтримки прийняття раціональних рішень в процесі функціонування повного ланцюга постачання, що дозволило знизити фінансові та часові ризики.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено підхід до організації інформаційного забезпечення процесів перевезення вантажів в межах ПЛП.

Розроблено інформаційне, алгоритмічне та програмне забезпечення синтезу нечіткої системи інформаційної підтримки процесів обґрунтування вибору виду транспорту та раціонального маршруту доставки у межах ПЛП.

Практичні результати дисертації апробовано та впроваджено на ТОВ «ASAL», а також використано у навчальному процесі кафедри автомобілів та технології їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету при викладанні дисциплін «Управління ланцюгом постачань» та «Логістика на автотранспорті» для здобувачів вищої освіти за спеціальностями 274 «Автомобільний транспорт» та 275 «Транспортні технології».

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному виконанні теоретичної, практичної частин та формуванні на цій основі висновків і рекомендацій. В

дисертаційній роботі узагальнено результати поточних досліджень автора. Всі основні наукові та практичні результати роботи, викладені в дисертації, отримані автором особисто. В роботах, виконаних у співавторстві, особисто авторові належать такі наукові результати: [3] – метод обґрунтування вибору виду транспорту для перевезення вантажів у межах повного логістичного ланцюга постачання, на основі нечіткої математики; [4] – використання двох альтернативних нечітких моделей, для дотримання принципу багатомодельності, при виборі раціонального виду транспорту для перевезення вантажів у межах повного логістичного ланцюга; [5] – модель повного логістичного ланцюга у формі вкладеної мережі Петрі; [6] – метод розширення часом мережевої моделі повного ланцюга постачання; [7] – концепція застосування технології експертних систем для вибору раціонального маршруту доставки у межах повного ланцюга постачання; [8] – підхід до інформатизації процесів управління життєвим циклом повних логістичних ланцюгів постачання, в рамках концепції «Industry 4.0».

Роботи [1, 2] виконано без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Апробацію результатів дисертаційного дослідження проведено на науково-технічних семінарах кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії та кафедри автомобілів та технології їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету. Окремі положення та результати досліджень доповідались на всеукраїнських і міжнародних конференціях та конгресах, а саме: Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (Харків, 2017); 22-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, 2018); Восьмій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Полтава – Баку – Харків – Жиліна, 2018); Шостій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків, 2018); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (Харків, 2018); Дев'ятій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Баку – Харків – Жиліна, 2019); 23-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, 2019); Десятій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Баку – Харків – Жиліна, 2020); П'ятнадцятій міжнародній конференції «ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer» (Херсон, 2019); Міжнародній науково-технічній конференції «Поліпшення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин» (Київ, 2021); Дванадцятій Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів (Одеса, 2021).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 21 друкована праця, серед них: 10 статей у наукових фахових виданнях (9 – у фахових виданнях України та 1 у закордонному фаховому періодичному виданні), з яких 5 – у виданнях,

що індексуються міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних, у тому числі 2 – у виданнях, що індексуються базою SCOPUS; 11 тез доповідей за матеріалами конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 181 сторінку, з яких основний текст на 154 сторінках, список використаних джерел із 106 найменувань на 11 сторінках, 2 додатки на 7 сторінках. Робота містить 13 таблиць та 25 рисунків, з яких 4 рисунки на 2 окремих сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційної роботи викладені актуальність теми дисертаційної роботи, мета і задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів роботи, її зв'язок із науковими програмами та планами НДР, визначено особистий внесок здобувача в наукових роботах, які написано у співавторстві, представлена інформація щодо апробації та публікації результатів дисертації, наведено дані про результати впровадження основних положень роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми створення засобів інформаційної підтримки процесів управління життєвим циклом повних ланцюгів постачання (ПЛП), зокрема, товарів бакалійної групи. Встановлено, що специфіка організації й підтримки повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи визначається, з одного боку, динамічністю та інтенсивністю бізнес процесів, а з іншого доволі високим рівнем невизначеності щодо урахування, в процесі формування відповідних рішень, ключових чинників, що визначають ефективність функціонування ПЛП. Показано, що в силу зазначених обставин, однією з пріоритетних задач підвищення ефективності функціонування ПЛП стає розробка дієвих засобів інформаційної підтримки процесів організації перевезень у межах ланцюга, аспекти обґрунтування вибору типу транспорту й раціональних маршрутів доставки вантажів.

Аналіз існуючих систем та процесів управління життєвим циклом ПЛП показав доцільність створення та використання, з подальшою інтеграцією із вже існуючими, спеціальних засобів, а на їх основі – прикладної інформаційної технології обґрунтування вибору виду транспорту та раціонального маршруту доставки у межах ПЛП. Показано при цьому, що така інформаційна технологія може бути реалізована за допомогою застосування елементів теорії мереж Петрі, теорії часових тверджень та нечіткої математики.

На основі проведеного аналітичного огляду наукових робіт та аналізу стану питання інформаційної підтримки процесів управління повними ланцюгами постачання, в частині організації перевезень вантажів у межах ПЛП, визначено етапи наукових досліджень і обґрунтовано мету та задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі описано процес розробки інформаційної моделі функціонування ПЛП. Показано, що процес створення, розгортання та підтримки функціонування ефективної ПЛП передбачає вирішення комплексу задач, пов'язаних із мінімізацією логістичних витрат як для фокусної компанії, так і для інших учасників логістичного ланцюга. Для формалізації даного завдання розглянуто планові показники закупівель,

продажів, витрат окремо для лівої, і для правої підмереж ланцюга поставок. Величину виробничої програми фокусної компанії порівняно до плану реалізації продукції ритейлерами. Введено припущення про те, що сировина закупається, а продукція реалізується за стабільними цінами.

Планова потреба фокусної компанії в закупівлях сировини:

$$M_l = \sum_{i=1}^m R_{li} \times Q_i,$$

де R_{li} – норма витрати l -го виду сировини на виробництво i -го виду товарів; m – номенклатура товарів, що переміщується в рамках логістичного ланцюга;

Q_i – обсяг продукції, необхідний для виконання фокусною компанією виробничої програми.

Плановий обсяг продукції, виробленої фокусною компанією, визначається на основі плану виробництва (продажів) з урахуванням комплексу факторів, що визначають поточний і перспективний попит на продукцію:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n P_j \times k_{ij},$$

де P_j – план виробництва (продажів) j -го товару; k_{ij} – застосовність i -го виду сировини при виробництві j -го товару; n – кількість номенклатурних позицій товарів.

Транспортні витрати, пов'язані із закупівлями сировини (витрати лівої підмережі ланцюга постачання):

$$Z_1 = \sum_{p=1}^u \sum_{l=1}^t Z_{lp},$$

де Z_{lp} – витрати доставки l -го виду сировини від p -го постачальника; u – число постачальників; t – номенклатура сировини, що поставляється.

План продажів визначається на основі маркетингових досліджень цільових ринкових сегментів:

$$P_j = \sum_{k=1}^s P_{jk},$$

де P_{jk} – план продажів j -го товару k -му сегменту; s – кількість сегментів.

Транспортні витрати, пов'язані з реалізацією готової продукції (витрати у правій підмережі):

$$Z_2 = \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n Z_{jk},$$

де Z_{jk} – витрати доставки j -го товару k -му сегменту.

Цільова функція, що припускає мінімізацію загальних логістичних витрат фокусної компанії, пов'язаних із закупівлями і збутом:

$$Z = Z_1 + Z_2 \rightarrow \min.$$

Рішенням цього завдання є вибір постачальників сировини і обсягів цих поставок, а також вибір ланок збутової мережі і розподіл між ними партій готової продукції.

Розглянута задача може бути вирішена із застосуванням мережевої моделі ПЛП, представленої у формі розширеної СП.

Цю модель було створено на основі подієвого підходу з використанням математичного апарату вкладених мереж Петрі (ВМП).

Мережева модель ПЛП може бути представлена кортежем:

$$IPN = \langle N, C, W, G, \Omega, M_0 \rangle,$$

де $N = (P, T, F)$ – скінчена мережа з множиною позицій P , множиною переходів T , відношенням інцидентності F ; $C: P \rightarrow \Omega$ – функцією маркування (розмальовування) позицій, що ставить у відповідність кожній позиції $p \in P$ її колір $C(p)$, Ω – номенклатура кольорів маркерів; W – функція, яка приписує дугам мережі N вирази типу

$$\begin{aligned} &((p, t), (t', p')) \in F: (\text{Type}(W(p, t)) = M(C(p))) \vee \\ &\vee (\text{Type}(W(t', p')) = M(C(p'))); \end{aligned}$$

Де $G: T \rightarrow L$ – функція, що кожному переходу $t \in T$ ставить у відповідність деякі логічні вирази, які відображають відповідні бізнес-процеси в рамках ПЛП; M_0 – функція, що визначає початкову розмітку ВМП і ставить кожній позиції $p \in P$ у відповідність такий вираз:

$$\forall p \in P: (\text{Type}(M_0(p)) = M(C(p))).$$

Функція m_0 визначає кольори маркерів, відображаючи тим самим конкретну ситуацію, що виникла в процесі функціонування ПЛП. У таблицях 1 і 2 наведено інтерпретацію подій у процесі функціонування ПЛП, та умов настання цих подій, відповідними елементами ВМП (переходами й позиціями).

Таблиця 1 - Інтерпретація умов при функціонуванні ПЛП позиціями ВМП

Позиції ВМП	Зміст умов
$p_1^{(1)}$	Наявність у постачальників виробничої бази встановлено
$p_2^{(1)}$	Наявність на складі постачальника достатньої кількості даного виду продукції встановлено
$p_3^{(1)}$	Відсутність варіанта заміни постачальника встановлено
$p_4^{(1)}$	Необхідний обсяг продукції на складі постачальника встановлено
$p_5^{(1)}$	Повідомлення про необхідність замовлення певного виду продукції відправлено
$p_6^{(1)}$	Замовлення для m -го виду продукції оформлено
$p_1^{(2)} - p_6^{(2)}$	Умови укладання договорів на постачання конкретних видів продукції

Таблиця 2 - Інтерпретація переходів у мережевій моделі, які призвели до настання подій в процесі функціонування повного логістичного ланцюга

Переходи ВМП	Зміст подій
--------------	-------------

$t_1^{(1)}$	Прибуття партії продукції від зовнішнього постачальника на склад фокусної компанії
$t_2^{(1)}$	Аналіз причин зриву поставок продукції в минулому
$t_3^{(1)}$	Визначення необхідного обсягу продукції на складі фокусної компанії
$t_4^{(1)}$	Замовлення партії продукції у зовнішніх постачальників
$t_5^{(1)}$	Повідомлення менеджменту фокусної компанії про відсутність на складі необхідної кількості конкретного виду продукції
$t_1^{(2)} - t_7^{(2)}$	Перелік дій, передбачених митним законодавством при організації поставок імпортової продукції

Проведено аналіз моделюючої здатності ВМП щодо відтворення бізнес процесів у межах ПЛП, при цьому встановлено, що для адекватного подання цих процесів, необхідно розширення ПЛП шляхом введення часових залежностей.

У ході дослідження розроблено метод розширення ВМП часовими твердженнями. Суть методу полягає у виявленні відхилень від графіка при виконанні завдань в ході функціонування ПЛП і формування вказівок щодо стабілізації поточного стану ланцюга.

Перший етап методу (кроки 1-4) здійснюється паралельно, асинхронно і циклічно під час кожного циклу моніторингу ланок логістичного ланцюга, це дає можливість в процесі підтримки прийняття рішень з управління ПЛП враховувати поточний стан окремих її ланок.

Другий етап методу (кроки 5-8), в разі тимчасових затримок, дає можливість сформулювати рішення щодо стабілізації функціонування ПЛП.

Події, що формуються в ПЛП і активуються мережевою моделлю $SN^{(1)}$:

- ПнМІ (Початок виконання(процес), t) – за фактом видачі завдання;
- ПнМІ (Закінчення виконання(процес), t) – за фактом завершення завдання.

Події, що формуються і активуються в ПЛП:

- ПнМІ (Плановий початок виконання(процес), t) – за графіком;
- ПнМІ (Планове закінчення виконання(процес), t) – за графіком;
- ПнМІ (Перевірка запізнення(z), t) – щоденно;
- ПнМІ (Перевірка статусу(z), t) – щоденно.

Нехай Z – множина бізнес-процесів в ПЛП, включаючи і процеси транспортування. Тоді $ZP: Z \rightarrow P$ задає відповідність поточного стану того чи іншого процесу позиціям мережі $SN^{(1)}$. Поточний стан процесу $z_i \in Z$ має ознаку *Статус*, визначає приналежність z_i до множин, що почалися Φ^p , що знаходяться в процесі виконання Φ^w або завершених Φ^f бізнес-процесів. Своєчасність реалізації процесів характеризується ознакою *Своєчасність*, яка визначає приналежність завдання z_i до \bar{W} або \tilde{W} , де \bar{W} – множина активізованих або завершених процесів без відхилення від графіка поставок, а \tilde{W} – множина процесів, час виконання або початок яких було затримано через вплив різного роду зовнішніх або параметричних збурень, причому $\bar{W} \cap \tilde{W} = \emptyset$ та існує $ZW: Z \rightarrow (\bar{W} \cup \tilde{W})$. Процеси в ПЛП поділяються на заготівельні Z^k (заготівля

сировини, виробництво і пакування) і транспортні Z^a , $Z = \{Z^k \cup Z^a\}$, при цьому $Z^k \cap Z^a = \emptyset$, мають місце бієктивні відображення $Z^k \rightarrow B$ та $Z^a \rightarrow ((P \setminus B) \setminus R)$.

Для активізації моделі $SN^{(1)}$ множина подій, що є наслідком реалізації процесів в ПЛП, відображається елементами множини $E^a = \{E^{p\phi} \cup E^d\}$ всіх подій, де $E^{p\phi}$ - події фактичного або планового початку / завершення виконання процесу, при цьому $E^{p\phi} \rightarrow E$, E^d - події перевірки стану процесу. Події з множини E^a змінюють статус процесів в моменти часу з множини $T = \{T^p \cup T^f\}$, $T^p \cap T^f = \emptyset$, де T^p - множина моментів часу перевірок на початку кожного циклу моніторингу, що мали місце з початку запуску ПЛП, T^f - множина моментів часу перевірок на початку кожного циклу моніторингу поточного стану ПЛП.

Початкова ситуація (запуск ПЛП) задається наступним чином:
 $\forall z_i \in \bar{W} \wedge \forall z_i \in \Phi^n, \exists Z^p : Z^k \rightarrow Z^a$.

1. Відображення в системі управління ПЛП фактів виникнення подій. У разі виникнення подій $e_j^\phi \in E^{p\phi}$ фактичних змін статусу процесу, де $j \in \{\text{поч, закінч}\}$, поч – початок виконання процесу, закінч – закінчення виконання процесу:

– якщо $e_{\text{поч}z_i}^\phi$ – відбувається зміна складу множин Φ^n та Φ^w шляхом:

$\Phi_k^n = \Phi_{k-1}^n - \phi_{z_i}^{\Phi^n} \wedge \Phi_k^w = \Phi_{k-1}^w + \phi_{z_i}^{\Phi^n}$, де k – черговий цикл моніторингу стану ПЛП;

– якщо $e_{\text{закінч}z_i}^\phi$ – відбувається зміна складу множин Φ^w та Φ^r шляхом:

$\Phi_k^w = \Phi_{k-1}^w - \phi_{z_i}^{\Phi^w} \wedge \Phi_k^r = \Phi_{k-1}^r + \phi_{z_i}^{\Phi^w}$, де k – черговий цикл моніторингу стану ПЛП;

– якщо для будь-якого завдання не має місце жодне із зазначених вище подій - перехід до кроку 2.

2. Відстеження статусу процесів в рамках ПЛП. У разі виникнення подій $e_j^{pl} \in E^{p\phi}$ планових змін статусу процесу, де $j \in \{\text{поч, закінч}\}$, поч – початок виконання процесу, закінч – закінчення процесу:

– якщо $e_{\text{поч}z_i}^{pl}$ для $\forall z_i | z_i \in \bar{W} \wedge z_i \in \Phi^n \wedge t_{\text{поч}z_i}^{pl} \in T^p \wedge t_{\text{поч}z_i}^\phi \in T^f$ – відбувається

зміна складу множин \bar{W} та \tilde{W} шляхом: $\bar{W}_k = \bar{W}_{k-1} - \omega_{z_i}^{\bar{W}} \wedge \tilde{W}_k = \tilde{W}_{k-1} + \omega_{z_i}^{\bar{W}}$;

– якщо $e_{\text{закінч}z_i}^{pl}$ для $\forall z_i | z_i \in \bar{W} \wedge \forall z_i \in \Phi^w \wedge t_{\text{закінч}z_i}^{pl} \in T^p \wedge t_{\text{закінч}z_i}^\phi \in T^f$

відбувається зміна складу множин \bar{W} та \tilde{W} шляхом: $\bar{W}_k = \bar{W}_{k-1} - \omega_{z_i}^{\bar{W}} \wedge$

$$\tilde{W}_k = \tilde{W}_{k-1} + \omega_{z_i}^{\bar{W}};$$

– якщо $e_{закінч_{z_i}}^{pl}$ для $\forall z_i | z_i \in \tilde{W} \wedge z_i \in \Phi^r \wedge (t_{закінч_{z_i}}^{\phi} \leq t_{закінч_{z_i}}^{pl})$ відбувається

зміна складу множин \bar{W} и \tilde{W} шляхом: $\tilde{W}_k = \tilde{W}_{k-1} - \omega_{z_i}^{\tilde{W}} \wedge \bar{W}_k = \bar{W}_{k-1} + \omega_{z_i}^{\tilde{W}}$;

– якщо для будь-якого процесу в ПЛП не має місце жодна із зазначених подій - перехід до кроку 3.

3. Контроль своєчасності виконання планових процесів ПЛП. У разі ініціювання подій $e_{K_j}^{ch} \in E^d$ перевірки завершення процесу, де K - множина індексів, $K = \{\phi\phi, \omega\omega, bb\}$, $\phi\phi$ – перевірка статусу процесу, $\omega\omega$ – перевірка своєчасності завершення процесу, bb - перевірка затримки початку процесу:

– якщо $e_{\phi\phi z_i}^{ch}$ для $\forall z_i | z_i \in \Phi^w \wedge t_{закінч_{z_i}}^{pl} \in T^f \wedge t_{закінч_{z_i}}^{\phi} \in T^f \wedge t_{перевірки_{z_i}}$ –

обчислення поточної тривалості виконання процесу $dur_{z_i}^w = t_{перевірки_{z_i}} - t_{поч_{z_i}}^{\phi}$;

– якщо $e_{\omega\omega z_i}^{ch}$ для $\forall z_i | z_i \in \Phi^w \wedge z_i \in \tilde{W} \wedge t_{перевірки_{z_i}}$ – обчислення поточної

тривалості затримки завершення процесу $dur_{z_i}^r = t_{перевірки_{z_i}} - t_{закінч_{z_i}}^{pl}$;

– якщо $e_{bb z_i}^{ch}$ для $\forall z_i | z_i \in \Phi^r \wedge z_i \in \tilde{W} \wedge (t_{закінч_{z_i}}^{pl} \leq t_{закінч_{z_i}}^{\phi})$ – відбувається зміна

складу множин \bar{W} та \tilde{W} шляхом: $\tilde{W}_k = \tilde{W}_{k-1} - \omega_{z_i}^{\tilde{W}} \wedge \bar{W}_k = \bar{W}_{k-1} + \omega_{z_i}^{\tilde{W}}$.

– якщо для будь-якого процесу не має місце жодна з цих подій - перехід до кроку 4.

4. Контроль затримки виконання планових процесів в ПЛП. Для кожного процесу $z_i \in Z^a$, що повинен бути реалізований при функціонуванні ПЛП, здійснюється перевірка затримки виконання $dur_{z_i}^r$ завдань, що входять в нього, визначення величини затримки $dur_{max} = \max_i(dur_{z_i}^r)$ і встановлення факту, що dur_{max} і буде затримкою в рамках всієї ПЛП.

5. Визначення споживача для процесу $z_i \in Z$ шляхом аналізу маршруту доставки і передача інформації про відхилення в ході функціонування ПЛП особі, що приймає рішення.

6. Визначення наявності критичної ситуації шляхом порівняння тривалості затримки dur_{max} завершення процесу $z_i \in Z$ з критичними значеннями затримки процесів.

7. Активація правил вирішальної позиції в мережевий моделі $SN^{(1)}$ і формування рішень щодо стабілізації стану ПЛП.

8. Виконання процедур завершиться за умов, якщо поточний стан всіх процесів матиме статус „Виконано”, тобто функціонування ПЛП досягне всіх поставлених цілей.

Було розроблено набір правил, у формі темпорально-логічних висловлювань, для розширення мережевої моделі функціонування ПЛП. Фрагмент цього набору правил наведено нижче:

1. У момент настання події «початок_виконання (процес)» параметр завдання *Статус* змінюється на «у_роботі» $\forall z_i \in \text{завдання}, \exists i, j \in \text{Interval}, \exists t \in \text{Time}$

ПнМІ (початок_виконання (z_i), t) \wedge ВнІ (Статус (z_i , не_видане), i) \wedge end(i)= t \Rightarrow ВнІ (Статус (z_i , у_роботі), j) \wedge meets(i , j).

2 У момент настання події «закінчення_виконання (процес)» параметр процесу *Статус* змінюється на «завершено» $\forall z_i \in \text{процес}, \exists i, j \in \text{Interval}, \exists t \in \text{Time}$

ПнМІ (закінчення_виконання (z_i), t) \wedge ВнІ (Статус (z_i , у_роботі), i) \wedge end(i)= t \Rightarrow ВнІ (Статус (z_i , завершено), j) \wedge meets(i , j).

3. У момент настання події «плановий_початок_виконання (процес)» та параметр *Статус* «не_розпочався», параметр процесу *Своєчасність* змінюється на «запізнюється» $\forall z_i \in \text{завдання}, \exists i, j, k \in \text{Interval}, \exists t \in \text{Time}$

ПнМІ (плановий_початок_виконання (z_i), t) \wedge ВнІ (Статус (z_i , не_розпочався), i) \wedge ВнІ (Своєчасність (z_i , своєчасно), j) \wedge end(j)= t \Rightarrow ВнІ (Своєчасність (z_i , запізнюється), k) \wedge meets(j , k).

4. У момент настання події «планове_закінчення_виконання (процес)» параметр процесу *Своєчасність* змінюється на «запізнюється» $\forall z_i \in \text{завдання}, \exists i, j, k \in \text{Interval}, \exists t \in \text{Time}$

ПнМІ (планове_закінчення_виконання (z_i), t) \wedge ВнІ (Статус (z_i , у_роботі), i) \wedge ВнІ (Своєчасність (z_i , своєчасно), j) \wedge end(j)= t \Rightarrow ВнІ (Своєчасність (z_i , запізнюється), k) \wedge meets(j , k).

5. У момент настання події «планове_закінчення_виконання (процес)», параметр процесу *Статус* «завершено» і при раніше визначеному запізненні, параметр завдання *Своєчасність* змінюється на «своєчасно» $\forall z_i \in \text{завдання}, \exists i, j, k \in \text{Interval}, \exists t \in \text{Time}$

ПнМІ (планове_закінчення_виконання (z_i), t) \wedge ВнІ (Статус(z_i , завершено), i) \wedge ВнІ (Своєчасність (z_i , запізнюється), j) \wedge (begin(i)= t \vee begin(i)< t) \wedge end(j)= t \Rightarrow ВнІ (Своєчасність (z_i , своєчасно), k) \wedge meets(j , k).

6. Формування події «затримано_початок»: $\forall z \in \text{завдання}, \exists i, j, k \in \text{Interval}$

ВнІ (Своєчасність (z , запізнюється), i) \wedge ВнІ (Статус(z , не_розпочався), j) \Rightarrow ПнМІ (Затримано початок (z), k) \wedge equal(i , k).

7. Підрахунок тривалості затримки завершення процесу: $\forall z \in \text{завдання}, \exists i, j, k \in \text{Interval}, \exists t \in \text{Time}$

ПнМІ (перевірка_запізнення (z), t) \wedge ВнІ (Своєчасність (z , запізнюється), i) \wedge ВнІ (Статус (z , у_роботі), j) \wedge t=end(i) \Rightarrow ВнІ (Своєчасність (z , запізнюється), k) \wedge Запізнення (z , d) \wedge d=duration(k) \wedge start(k , i).

8. Перевірка статусу процесу: $\forall z \in \text{завдання}, \exists i, j, k \in \text{Interval}, \exists t \in \text{Time}$

ПнМІ (перевірка_статусу (z), t) \wedge ВнІ (Статус (z , у_роботі), i) \wedge t=end(i) \Rightarrow start(j , i) \wedge ВнІ (Статус(z), j) .

Правило, яке формує факти про передбачуване запізнення виконання процесу $\exists P1, P2 \in z, \exists dur_{max} \in Duration$ містить $(P1, P2) \wedge$ затримки $(P2, dur_{max}) \Rightarrow$ передбачуване_запізнення $(P1, dur_{max})$

Правило, що формує факт про критичне запізнення процесу $\forall P \in z, \exists d \in Duration$ Запізнення $(P, d) \wedge$ критичне_запізнення $(P, l) \wedge (d=l \vee d < l) \Rightarrow$ критична_ситуація (P, d) .

Інформаційна модель функціонування ПЛП у формі ВМП, що розширені часом, є методичним ядром системи підтримки прийняття рішень щодо функціонування ПЛП.

Третій розділ містить опис методу реалізації нечіткого виведення на знаннях при формуванні рішень щодо організації матеріальних потоків у межах ПЛП.

Загальна характеристика методу: вихідні дані – чотири лінгвістичних змінних (погодні умови, якість дорожнього покриття, кількість обмежень швидкісного режиму, час проходження митного посту); результат застосування методу – час та вартість транспортування партії товарів у межах ПЛП за різними маршрутами. Метод передбачає реалізацію таких кроків.

1. Синтез нечіткої моделі виведення на знаннях у середовищі MatLab із застосуванням пакету Fuzzy Logic Toolbox.

2. Визначення методу агрегування підумов.

3. Формування терм-множин.

Для першої лінгвістичної змінної - "Погодні умови" (Pogoda) $T_1 = \{$ "задовільна", "добра", "відмінна" $\}$. Для другої лінгвістичної змінної - "Якість покриття" (Pokratie) $T_2 = \{$ "погане", "середнє", "бездоганне" $\}$. Для третьої лінгвістичної змінної - "Обмеження швидкості" (Ogran_skorosti) $T_3 = \{$ "дуже швидко", "швидко", "повільно" $\}$. Для четвертої лінгвістичної змінної - "Проходження митних постів" (Tamozhen_postu) $T_4 = \{$ "повільно", "швидко", "дуже швидко" $\}$. Терм-множина п'ятої лінгвістичної змінної: "Час транспортування" (Vrema) $T_5 = \{$ "відмінний", "добрий", "середній", "поганий", "дуже поганий" $\}$. Терм-множина шостої лінгвістичної змінної: "Вартість транспортування" (Stoimost) $T_6 = \{$ "дуже низька", "низька", "середня", "висока", "дуже висока" $\}$.

4. Синтез нечіткої моделі виведення на знаннях, за допомогою графічних засобів середовища MATLAB (редактор FIS).

5. Визначення функції приналежності вхідних та вихідних змінних моделей нечіткого виведення на знаннях.

6. Формування бази знань у вигляді набору нечітких правил.

7. Розробка засобів аналізу варіантів маршрутів, що сформовані.

8. Розробка засобів візуалізації функціонування ПЛП, в аспекті організації матеріальних потоків.

Розроблений метод безпосередньо визначає механізм машини виведення нечіткої експертної системи (ЕС), як засобу інформаційної підтримки прийняття рішень щодо раціональної організації ПЛП.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації технології інформаційної підтримки процесів створення і підтримки ПЛП товарів бакалійної групи, в частині організації перевезення вантажів, на прикладі діяльності ТОВ «ASAL» щодо постачання в Україну сухофруктів.

Розглянуто сценарний приклад реалізації прикладної інформаційної технології управління життєвим циклом ПЛП. В рамках цього прикладу було визначено головні чинники, що впливають на ефективність перевезень сухофруктів в межах ПЛП: час доставки; вартість доставки; надійність дотримання графіка доставки вантажу; частота відправлень; здатність до перевезення різних вантажів; спроможність доставки вантажу у будь-яку географічну точку, а також критерії оптимальності – час доставки та вартість доставки.

У відповідності до розробленого методу, були сформовані такі базисні нечіткі множини:

$$\text{а) } X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\};$$

$$\text{б) } Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6\};$$

$$\text{в) } Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6\},$$

де а) x_1 – «залізничний транспорт», x_2 – «морський транспорт», x_3 – «автомобільний транспорт», x_4 – «повітряний транспорт», x_5 – «річковий транспорт»; x_6 – «трубопровідний транспорт»; б) перевезення y_1 – «унімодальне», y_2 – «змішане», y_3 – «комбіноване», y_4 – «інтермодальне», y_5 – «термінальне», y_6 – «мультимодальне»; в) z_1 – «час доставки», z_2 – «частота відправлень», z_3 – «надійність дотримання графіка доставки вантажу», z_4 – «здатність до перевезення різних вантажів», z_5 – «спроможність доставки вантажу у будь-яку географічну точку», z_6 – «вартість перевезення».

На наступному кроці було сформовано матрицю результуючого нечіткого відношення:

$$M_{S*T} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,7 & 0,3 & 0,5 \\ 0,4 & 0,7 & 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 \\ 0,8 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,3 & 0,6 \\ 0,3 & 0,3 & 0,3 & 0,3 & 0,3 & 0,7 \\ 0,8 & 0,6 & 0,4 & 0,4 & 0,3 & 0,3 \\ 0,4 & 0,7 & 0,7 & 0,9 & 0,7 & 0,7 \end{bmatrix}.$$

В результаті обчислення значень функції приналежності, із застосуванням операції (max-min) – композиції, системою визначено, що використання автомобільного транспорту є найбільш доцільним, оскільки значення $\mu_{S*T}(\langle x_3, z_1 \rangle) = 0,8$ та $\mu_{S*T}(\langle x_3, z_6 \rangle) = 0,6$ максимальні з усіх, що отримано в результаті композиції нечітких відношень.

Для підтвердження цього рішення було задіяно підсистему пояснень, що входить до складу нечіткої ЕС, у якій отримано аналогічний результат, але за допомогою альтернативної операції max-prod-композиції.

Наступним етапом було визначення раціонального маршруту. При цьому були використані: логічні операції - min - для нечіткого логічного «І», та max - для нечіткого логічного «АБО»; метод імплікації – для операції min; метод агрегування – для операції max; метод дефазифікації – centroid. Обсяг нечіткої бази знань ЕС склав 30 правил. На рис. 1 показано інтерфейс нечіткої ЕС для формування рішень щодо визначення раціонального маршруту доставки вантажів у межах ПЛП.

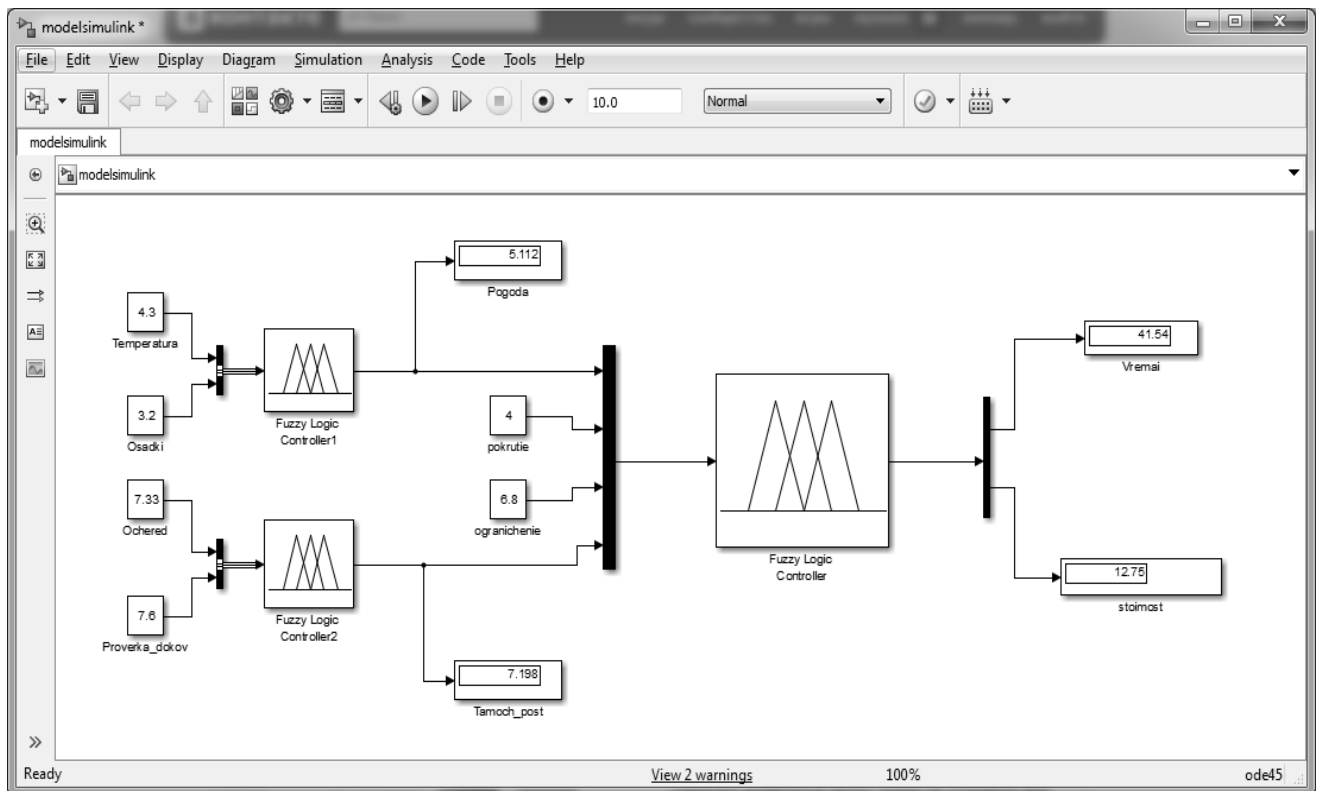


Рисунок 1. Інтерфейс нечіткої ЕС в режимі обґрунтування раціонального маршруту доставки партії сухофруктів автомобільним транспортом

Шляхом введення значень вихідних змінних для першого варіанта маршруту ЕС сформувала такі значення: «Погодні умови» - 5 балів; «Якість дорожнього покриття» - 4 бала; «Обмеження швидкості» - 6,8 балів; «Проходження митних постів» - 7 балів. Для другого варіанту транспортування - «Погодні умови» - 5 балів; «Якість дорожнього покриття» - 7 балів; «Обмеження швидкості» - 4,5 бала; «Проходження митних постів» - 3,5 бала.

Результат роботи ЕС: Для першого маршруту транспортування «Час транспортування» - 41,5 годин, «Вартість транспортування» - 12,7 тисяч гривень; для другого варіанту транспортування «Час транспортування» - 49,2 години, «Вартість транспортування» - 15,6 тисяч гривень.

Виходячи з отриманих результатів, перший з маршрутів є раціональним.

Для підвищення адекватності нечіткої моделі, було застосовано засоби візуалізації (рис.2).

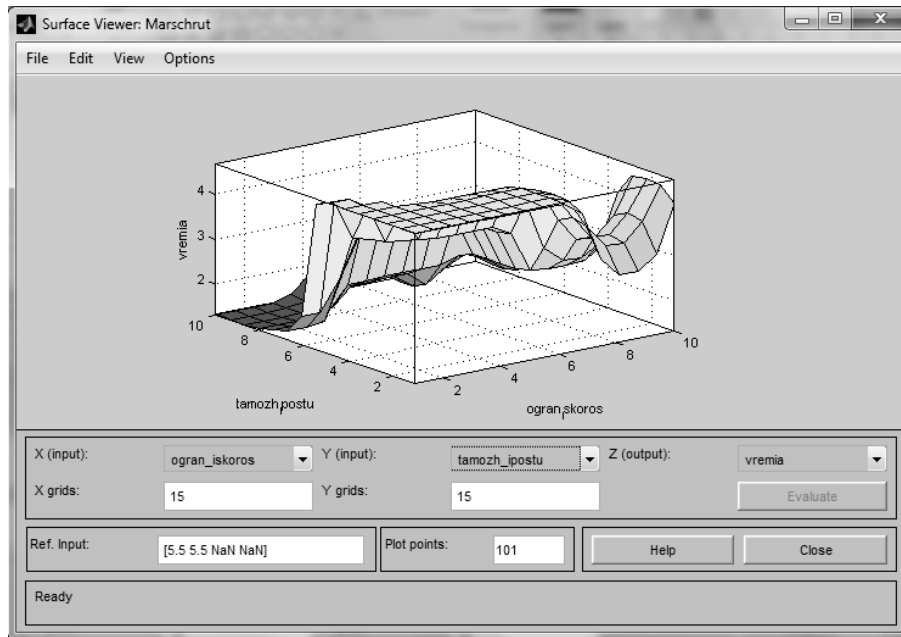


Рисунок 2. Візуалізація поверхні нечіткого логічного виведення для результуючої змінної «Час транспортування» при визначенні раціонального маршруту доставки

Візуалізацію поверхні нечіткого виведення проведено із застосуванням інструментальних засобів Fuzzy Logic Toolbox та Simulink середовища MATLAB. Застосування засобів візуалізації характер поверхні нечіткого виведення надає змогу встановити залежність значень результуючої змінної від значень окремих вихідних змінних нечіткої моделі, та змінити ці значення у разі необхідності.

У ході дослідження було розроблено прикладну інформаційну технологію підтримання життєвого циклу повних логістичних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи, в частині організації матеріальних потоків у межах ПЛП (рис. 3).

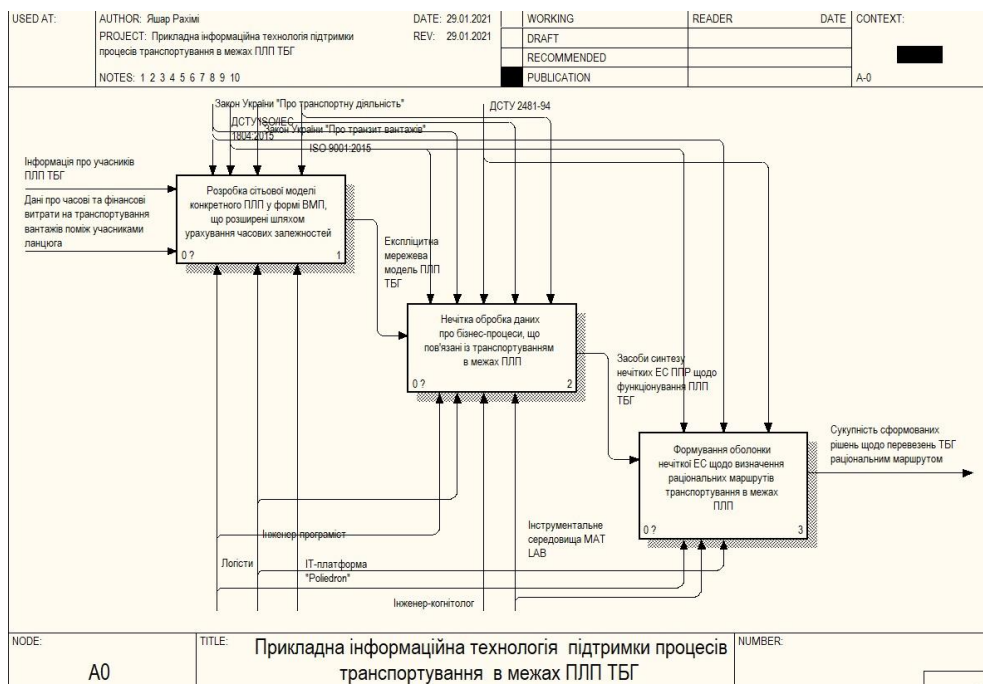


Рисунок 3. Прикладна інформаційна технологія підтримки процесів транспортування у межах повного логістичного ланцюга поставок товарів бакалійної групи

Оцінювання ефективності інформаційного підтримання процесів управління ЖЦ ПЛП проводилося із використанням різновиду методу ковзного середнього – розбиттям з єдиним виокремленим елементом. Для тестування була сформована вибірка з тридцяти типових ситуацій, пов'язаних із невиробничими втратами під час транспортування вантажів у межах ПЛП, що мали місце у діяльності ТОВ «ASAL» протягом 2020 року. Аналіз цих даних показав, що рівень невиробничих втрат склав близько 44%. Оскільки розрахунки показали ймовірність отримання неправильного рішення, при застосуванні розроблених засобів інформаційної підтримки, що дорівнює 0,16, застосування розроблених засобів інформаційної підтримки ПЛП надасть змогу зменшити рівень невиробничих втрат у середньому на $44\% * 0,16 = 37\%$.

У *додатках* наведено акти про впровадження і використання результатів досліджень у діяльності торговельної компанії, щодо створення й підтримки повного ланцюга постачання товарів бакалійної групи в Україну та у навчальному процесі ЗВО.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі поставлено та вирішено актуальне наукове завдання, пов'язане із підвищенням ефективності функціонування повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи за рахунок створення спеціальних методичних засобів, а на їх основі прикладної інформаційної технології підтримки прийняття рішень щодо забезпечення своєчасних поставок роздрібним реалізаторам партій товарів з високою ліквідністю. При цьому підвищення ефективності досягається внаслідок скорочення часу, необхідного на перевезення в межах ланцюга, та зниження невиробничих витрат шляхом визначення раціонального маршруту доставки та типу транспорту.

Основні результати:

1. Проведено аналіз поточного стану інформатизації процесів управління життєвим циклом повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи, який показав, що ефективність функціонування даного типу логістичних структур значною мірою залежить від скорочення часу на перевезення в межах ланцюга та зниження витрат на ці перевезення. Зроблено висновок про те, що тривалість перевезень в межах ланцюга та їхня вартість визначається, насамперед, типом транспорту і маршрутом доставки. Виходячи із зазначених обставин, сформульовано мету та задачі дослідження, які спрямовані на розробку методичних засобів та на цій основі прикладної інформаційної технології підтримки рішень щодо вибору раціонального маршруту та типу транспорту для перевезень товарів бакалійної групи в межах повного логістичного ланцюга.

2. Вперше розроблено модель повного логістичного ланцюга постачання у формі вкладеної мережі Петрі, що надає змогу відобразити ієрархічність ланцюга, а саме верхній його рівень (фокусну компанію по переробці вихідної сировини) та нижчі рівні, що відображають діяльність постачальників сировини та реалізаторів готової продукції.

3. Вперше розроблено метод подання часових залежностей поміж бізнес-процесами у повному логістичному ланцюзі постачання, що заснований на розширених часом вкладених мережах Петрі, та який надає змогу виявляти

відхилення у функціонуванні ланцюга й оцінювати критичність цих відхилень для дотримання принципу «just-in-time».

4. Удосконалено метод формування рішення щодо вибору раціонального маршруту транспортування в рамках повного логістичного ланцюга, з використанням нечіткої математики, та який, на відміну від відомих, надає змогу знизити рівень невизначеності часових та фінансових витрат при функціонуванні ланцюга поставок.

5. Дістали подальший розвиток інформаційні технології управління процесами транспортної логістики в частині розробки засобів підтримки прийняття раціональних рішень в процесі функціонування повного ланцюга постачання, що дозволило знизити фінансові та часові ризики.

6. Здійснено впровадження результатів дисертаційного дослідження у діяльність логістичних компаній та у навчальний процес закладів вищої освіти.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Рахими Я. Знаниеориентированный подход к организации поддержки принятия решений по формированию полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину / Я. Рахими // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2017. – Вип. 6(46). – С. 197-201.

2. Рахими Я. Разработка сетевой модели для оптимизации функционирования логистической цепи поставок сухофруктов в режиме «just-in-time» / Я. Рахими // Сучасні інформаційні системи. – Х.: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2018. – Том 2. №1 – С.11-15.

3. Рахими Я. Разработка экспертной системы для выбора рационального маршрута транспортировки сухофруктов в Украину / Я. Рахими, Е.И. Феоктистова // Сучасні інформаційні системи. – Х.: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2018. – Том 2. №2 – С.84-88.

4. Шостак И.В. Моделирование полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину с применением вложенных сетей Петри / И. В. Шостак, Я. Рахими // Сучасні інформаційні системи. – Х.: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2018. – Том 2. №4 – С.45-48.

5. Рахими Я. Нечеткое моделирование транспортной составляющей полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину / Я. Рахими, И.В. Шостак, Е.И. Феоктистова // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2018. – Вип. 3(49). – С. 83-87.

6. Шостак И.В. Метод расширения модели логистической цепи поставок, представленной в форме двухуровневой вложенной сети Петри / И. В. Шостак, Я. Рахими // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2019. – Вип. 1(89). – С.82-90.

7. Kudhair Abed Thamer. Development of an approach to managing dry fruit supply chains using expert systems / Abed Thamer Kudhair, Yashar Rahimi // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2020. – № 4/3 (106). – С. 16 – 22.

8. Rahimi Y. Organization the information support of full logistic supply chains within the industry 4.0 / Y. Rahimi, I. Matyshenko, R. Kapitan, Y. Pronchakov // *International Journal for Quality Research*. – 2020. – №14(4), P. 1279–1290.

9. Підгорний М.В. Моделі інформаційної підтримки повних ланцюгів постачань / М.В. Підгорний, О.Ю. Лук'янченко, Я. Рахімі // *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. – 2021. – Випуск 3 (50). С. 123-130.

10. Підгорний М. В. Системний підхід до побудови інформаційної технології підвищення ефективності ланцюга постачань товарів / М.В. Підгорний, Я. Рахімі // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – К.: ЦНДІ НіУ, 2021. – Вип. 2(64). – С. 89-91.

11. Рахіми Я. Подход к организации логистических процессов, связанных с поставками сухофруктов / Я. Рахіми // *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017»*: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2017. – Том 3. – С.149.

12. Рахіми Я. Формирование полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину с использованием мультиагентной технологии / Я. Рахіми // *XXII Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»*. Зб. Матеріалів форуму. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – Том 9. – С.164-165.

13. Рахіми Я. Модернизация логистической цепи поставок сухофруктов в Украину на основе мультиагентной технологии / Я. Рахіми // *Сьома міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління»*. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – С. 5.

14. Рахіми Я. Повышение эффективности процессов формирования полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину средствами искусственного интеллекта / Я. Рахіми // *Шоста міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації»*. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – С. 108.

15. Рахімі Я. Надбання знань для побудови експертної системи підтримки прийняття рішень по організації повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів в Україну / Я. Рахімі // *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2018»*: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2018. – Том 3. – С.64.

16. Рахіми Я. Информационная технология создания, развертывания и поддержки функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину / Я. Рахіми // *Дев'ята міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління»*. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – С. 27.

17. Рахімі Я. Застосування вкладених мереж Петрі для створення процесних моделей в задачі розгортання повного логістичного ланцюга / Я. Рахімі // *XXIII Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»*. Зб. Матеріалів форуму. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – Том 9. – С.107-108.

18. Shostak I. Ensuring the security of the full logistics supply chain based on the blockchain technology / I. Shostak, Y. Rahimi, M. Danova, O. Feoktystova, O. Melnyk //

15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, ICTERI. CEUR Workshop Proceedings, 2019. – Volume 2393. – P. 655-663.

19. Shostak I. Application of IoT technology to ensure the security of full logistic supply chains / I. Shostak, Y. Rahimi, M. Danova // Десята міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». – Харків: ХНУРЕ, 2020. – С. 53.

20. Підгорний М.В. Моделі інформаційної підтримки повних ланцюгів постачань / М.В. Підгорний, О.Ю. Лук'янченко, Я. Рахімі // Міжнародна науково-технічна конференція «Поліпшення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин». – К.: НТУ, 2021. – С.10.

21. Підгорний М.В. Системна ефективність логіко-динамічних комплексів транспортування небезпечних вантажів / М.В. Підгорний, В.П. Мельник, Я. Рахімі // Технічне регулювання, метрологія, якість, інформаційні та транспортні технології: матеріали Дванадцятій Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. (Одеса, 03-04 червня 2021 р.) / ред. М. О. Манзарук. Одеса: ДУІТЗ, 2021. – С.104-106.

АНОТАЦІЯ

Рахімі Я. Нечітка мережева модель та методи інформаційного підтримування повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси. – 2021.

Дисертація присвячена розробці методичних засобів інформаційної підтримки життєвого циклу повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи.

Вперше розроблено модель повного логістичного ланцюга постачання у формі вкладеної мережі Петрі та метод подання часових залежностей між бізнес-процесами на основі розширених часом вкладених мережах Петрі. Удосконалено метод формування рішення щодо вибору раціонального маршруту транспортування в рамках повного логістичного ланцюга, з використанням нечіткої математики. Дістали подальший розвиток прикладні інформаційні технології в частині розробки засобів підтримки прийняття раціональних рішень щодо функціонування повного ланцюга постачання.

Практичні результати дисертації апробовано та впроваджено на ТОВ «ASAL» та у навчальний процес Черкаського державного технологічного університету.

Ключові слова: інформаційні технології, повний ланцюг постачання, мережі Петрі, теорія часових тверджень, нечітка математика, експертна система.

АННОТАЦИЯ

Рахими Я. Нечеткая сетевая модель и методы информационной поддержки полных цепей поставок товаров бакалейной группы. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - информационные технологии. – Черкасский государственный технологический университет, Черкасы. - 2021.

Диссертация посвящена разработке методических средств информационной поддержки жизненного цикла полных цепей поставки товаров бакалейной группы.

Впервые разработана модель полной логистической цепи поставок в форме вложенной сети Петри и метод представления временных зависимостей между бизнес-процессами на основе расширенных временем вложенных сетях Петри. Усовершенствован метод формирования решения по выбору рационального маршрута транспортировки в рамках полной логистической цепи, с использованием нечеткой математики. Получили дальнейшее развитие прикладные информационные технологии в части разработки средств поддержки принятия рациональных решений по функционированию полных цепей поставок.

Практические результаты диссертации апробированы и внедрены на ООО «ASAL» и в учебный процесс Черкасского государственного технологического университета.

Ключевые слова: информационные технологии, полная цепь поставок, сети Петри, теория временных утверждений, нечеткая математика, экспертная система.

ABSTRACT

Rakhimi Ya. Fuzzy network model and information support methods for complete supply chains of grocery goods. - Manuscript.

The thesis for Candidate Degree of Technical Sciences in specialty 05.13.06 - information technologies. - Cherkasy State Technological University, Cherkasy. - 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the scientific problem, which consists in increasing the efficiency of the processes of information support of complete logistics supply chains of food products, first of all, grocery group products. At the same time, the efficiency of complete logistics supply chains operation is achieved by reducing the risks of additional time and financial costs in the implementation of both individual sites and the supply chain as a whole.

The formal representation of the above problems is based on the mathematical apparatus known in the framework of fuzzy set theory and temporal logic. It is shown that since the complete logistics chain of food supply has a hierarchical structure and the diversified nature of the formation of material flows, in terms of time and resource constraints, ensuring the adequacy of the developed model can be achieved by using the mathematical apparatus of nested Petri nets. Temporal statements and fuzzy representation of variables. Thus, in the course of the study, a fuzzy network model of complete logistics supply chains of food products in the form of a hierarchical two-level nested Petri nets was created. This model, in contrast to the known, reduces uncertainty and, consequently, reduces the risk of additional costs in the operation of complete logistics supply chains, through the implementation of technology for collecting, summarizing and processing information on the rational formation of material flows within the complete logistics chain, taking into account time and resource constraints.

The description of the procedure of creating a fuzzy network model of presenting information about business processes that take place in the process of full logistics chain, taking into account the existing time and resource constraints, in the form of a nested Petri net, expanded by introducing fuzzy and temporal statements. The scientific novelty of the created model and its difference from the existing ones is to improve the process of

presenting data on situations that arise in the process of functioning of the complete logistics chain due to time and resource constraints.

In order to automate the processes of decision-making on the sustainable operation of complete logistics supply chains, special methods were developed during the study. The first of these methods, in contrast to existing ones, makes it possible to detect deviations in the functioning of the supply chain, and assess the criticality of these deviations to comply with the principle of "just-in-time", using as a methodological basis a number of operations to manipulate complete logistics supply chains model elements. which is presented in the form of extended time nested Petri nets. The second method is designed to form decisions on the choice of a rational route of transportation within the complete logistics chain, using fuzzy mathematics. This method, in contrast to the known ones, makes it possible to reduce the level of uncertainty of time and financial costs in the operation of complete logistics supply chains.

On the basis of the developed methodical means the work describes the process of formation and ensuring the sustainable functioning of complete logistics supply chains typical food products of the grocery group, namely dried fruits, nuts, spices and oils.

The calculation of the efficiency of the tools developed in the dissertation is based on a comparative analysis of the costs of complete logistics supply chains implementation traditionally, with direct management of business processes by managers, and with the help of methodological and software developed during the study. A comparative analysis of the production activities of a typical logistics company over the last five years was used, with a conditional scenario, according to which this company would use a special decision support system for the implementation of complete logistics supply chains.

Thus, the study obtained the following scientific results:

- for the first time a model of a complete supply chain in the form of a nested Petri net was developed, which, unlike the known ones, allows to reflect the hierarchy of the chain, namely its upper level (focus company on processing raw materials) and lower levels reflecting the activities of suppliers sellers of finished products;
- for the first time a method of presenting time dependencies between business processes in a complete logistics supply chain was developed, based on extended time-nested Petri nets, which allows to detect deviations in chain operation and assess the criticality of these deviations to comply with the principle of "just-in-time";
- improved the method of forming a decision on the choice of a rational route of transportation within the complete logistics chain, using fuzzy mathematics, and which, in contrast to the known, allows to reduce the level of uncertainty of time and financial costs in the supply chain;
- applied information technologies for the management of transport logistics processes were further developed in terms of developing tools to support rational decision-making in the process of functioning of the full supply chain, which reduced financial and time risks.

The practical results of the dissertation were tested and implemented at «ASAL» LLC and in the educational process of the Cherkasy State Technological University.

Keywords: information technology, complete supply chain, Petri nets, temporal statement theory, fuzzy mathematics, expert system