

УДК 005.8:164:574

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.261956

Розробка методу управління конфігурацією продуктів проєкту екологістичної системи

С. В. Руденко, т. А. Ковтун, в. Ю. Смирковська

Висвітлено проблему необхідності перетворення логістичних систем у екологістичні заради досягнення екологічних цілей сталого розвитку. Визначено, що одним зі шляхів зниження екодеструктивного впливу екологістичних системна довкілля є застосування інструментарію методології управління проєктами та внесення змін у життєвий цикл проєкту шляхом включення еколого-орієнтованих фаз. Ідентифіковано продукти, що отримуються на протяжжі життєвого циклу проєкту екологістичної системи, та визначено зв'язки між продуктами окремих фаз проєкту.

Об'єктом дослідження є метод управління конфігурацією продуктів проєкту екологістичної системи, що включає три етапи: специфікацію параметрів продуктів, кластеризацію продуктів, структурування кластерів продуктів проєкту. Надано характеристику кожного з етапів.

Специфікація параметрів продуктів полягає в створенні описових фреймових моделей продуктів, які містять необхідні для характеристики продукту фази проєкту параметри, що відображаються у змісті продуктів проєкту. Кластеризація продуктів передбачає створення інформаційних моделей кластерів продуктів, які містять інформацію про множину продуктів фаз проєкту, що мають близькі значення параметрів. Структурування кластерів продуктів проєкту призводить до створення мережі кластерів, між якими утворюються зв'язки, що дозволяє створити конфігурацію продуктів.

Представлено експериментальні розрахунки, що підтверджують адекватність застосування запропонованого методу управління конфігурацією продуктів проєкту екологістичної системи. В результаті створено мережу кластерів продуктів проєкту, використовуючи які можливо синтезувати ланцюги продуктів, що матимуть максимальну цінність з погляду виконання правил екологістики та дозволять мінімізувати негативний вплив на довкілля

Ключові слова: екологістична система, життєвий цикл проєкту, зміст продуктів, конфігурація продуктів проєкту

1. Вступ

Сучасною вимогою до здійснення логістичної діяльності з точки зору концепції сталого розвитку є зниження екодеструктивного впливу на стан довкілля. Зміна світоглядної парадигми людства потребує трансформації логістичних систем, які відповідають сучасній лінійній моделі економіки, в замкнуті екологістичні системи (ЕЛС) [1, 2]. Екологістичні системи дозволяють впровадити принципи циркулярної економіки в господарську діяльність [3] та досягти зниження еколого-економічних збитків, що наносяться довкіллю.

Наукові дослідження з тематики екологізації логістики акцентують увагу на важливості питання застосування сучасних механізмів управління замкнутими логістичними системами [4]. Підвищення успішності створення та функціонування *ЕЛС* можливо досягти завдяки застосуванню інструментарію методології управління проектами. З позицій проектного підходу *ЕЛС* розглядається як унікальний результат, що отримується від цілеспрямованої обмеженої у часі діяльності.

Проектний підхід передбачає поділ життєвого циклу (*ЖЦ*) проекту на фази, результатом яких є отримання певних продуктів. *ЖЦ* проекту *ЕЛС* включає окрім основних: передінвестиційної, інвестиційної та експлуатаційної, екологоорієнтовані фази: регенеративну та ліквідаційну [5]. Завдяки їх наявності у *ЖЦ* проекту стає можливим замкнути логістичні ланцюги та перетворити логістичну систему у більш небезпечну з точки зору екології – екологістичну.

Цінність такого типу проектів пропонується розглядати не тільки з позицій виконання основних правил логістики: необхідний продукт, в необхідній якості, в необхідній кількості, в необхідному місті, в необхідний час, необхідному споживачу. Але необхідно враховувати правило екологістики – з мінімальними витратами та мінімальним екодеструктивним впливом на довкілля [6].

Екологічна орієнтованість створюваних систем відображається на складі та характеристиках продуктів, що утворюються на протязі *ЖЦ* проекту *ЕЛС*. Між продуктами фаз *ЖЦ* проекту виникають зв'язки, відобразити які можливо у конфігурації продуктів. Створення конфігурації продуктів є одним з найважливіших етапів планування проекту *ЕЛС*, що потребує застосування сучасних методів, які дозволять врахувати специфічні особливості даного типу проектів. В результаті застосування запропонованого підходу стає можливим підвищити цінність продуктів проекту, що отримуються, з точки зору виконання правил екологістики.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питання управління конфігурацією відображені в міжнародних та національних стандартах, дослідження яких дозволило зробити висновок, що управління конфігурацією в них розглядається як на рівні проектів, так і на рівні продуктів. Аналіз стандарту [7] показав, що в ньому не розглядається питання управління конфігурацією проектів, а зосереджується увага на управлінні конфігурацією продукції. Конфігурація представлена як структура пред'явленого до розробки, такого, що розробляється, або існуючого виробу. В ній представлені функціональні, фізичні та експлуатаційні властивості (характеристики), які відповідають встановленим вимогам. Конфігурація відображається в різних інформаційних моделях, які відповідають стадіям *ЖЦ* цього виробу.

На відміну від попереднього, в стандарті [8] розглядаються питання управління конфігурацією проектів та управлінням конфігурацією продуктів. Такий погляд на управління конфігурацією в проектах є обґрунтованим, оскільки підтверджує нерозривний зв'язок між цими поняттями та їх вплив на результативність проектної діяльності.

В дослідження сучасних науковців також простежується зв'язок між конфігурацією проєктів та продуктів. В [9] розроблено концептуальну модель процесу управління конфігурацією в проєктах, де показано, що для досягнення мети цього процесу, необхідно управляти конфігурацією проєкту, продукту та проєктного оточення. В роботі показано зв'язок між завданнями синтезу та управління конфігурацією в проєктах на протязі ЖЦ, але основну увагу приділено дослідженню конфігурації проєктного оточення.

В [10] викладено науково-методичні основи процесу узгодження конфігурацій систем-продуктів та їх проєктів. Узгодження відбувається стосовно чотирьох процесів – управління конфігурацією систем-продуктів, становлення конфігурації систем-продуктів, управління конфігурацією проєктів та формування конфігурації проєктно-технологічних структур, які забезпечують становлення конфігурації систем продуктів. Основну увагу приділено дослідженню узгодженню конфігурацій, але недостатньо досліджено їх сутності.

Управління конфігурацією проєкту неможливо розглядати не враховуючи управлінням змістом проєкту. В стандарті [11] розрізняється зміст проєкту та зміст продукту проєкту. Під змістом продукту проєкту розуміються властивості та функції, які характеризують продукт, послуги або результат. В роботі [12] запропоновано доповнити існуючі методології управління проєктами процесом оптимізації змісту проєкту, що підтверджує актуальність проблематики дослідження управління змістом продуктів проєкту в тому числі.

Нестабільності умов реалізації проєкту впливає на процес управління змістом та конфігурацією проєктів, що відображається шляхом врахування невизначеності вхідної інформації щодо характеристик проєкту [13]. Модель та метод багатокритеріальної оптимізації змісту проєкту при нечітких вхідних даних представлені в [14], але не розглядається питання впливу на конфігурацію продуктів. Пропонується використовувати нечітку кластеризацію на для вирішення проблем планування проєкту в дослідженні [15], в якому основну увагу зосереджено на урахуванні обмежених ресурсів при визначенні параметрів проєкту. В роботі [16] представлена модель, яка завдяки нечіткій логіці може нивілювати нечіткість вхідної інформації стосовно окремих проєктів, але не розглядається питання безпосереднього впливу на зміст продуктів проєкту та їх конфігурацію. Розглянуто питання застосування інструментарію фреймового моделювання при формування змісту продуктів проєкту екологістичної системи в [17]. Виявлено зв'язки між продуктами при створенні фреймової мережі продуктів проєкту, але не досліджено процес формування їх конфігурації.

Отже, процес управління конфігурацією проєкту трактується досить широко та відображає різноманітні сторони конфігурації в проєкті. Важливим аспектом є необхідність врахування невизначеності при формуванні змісту та конфігурації продуктів проєкту.

Треба відмітити, що проєкт *ЕЛС* та його продукти мають ряд специфічних особливостей, що відображається на управлінні їх конфігурацією. Продукти проєкту *ЕЛС* відрізняються з точки зору екодеструктивного впливу на навколишнє середовище, тому необхідно дослідити питання управління їх конфігурацією через призму дотримання правил екологістики.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розробка методу управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС*, що дозволить врахувати специфічні особливості продуктів, що створюються, та надасть можливість досягти максимальної цінності проекту з позицій виконання правил екології.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити механізм формування змісту продуктів проекту *ЕЛС*;
- визначити послідовність та надати характеристику етапів управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС*;
- провести експериментальні розрахунки, що підтверджують адекватність запропонованого методу управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС*.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес розробки методу управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС*.

Гіпотеза дослідження: врахування специфічних особливостей продуктів фаз *ЖЦ* проекту *ЕЛС* та встановлення зв'язків між ними з урахуванням невизначеності умов реалізації проекту дозволить отримати метод, використання якого надасть можливість досягти максимальної цінності проекту з позиції виконання правил екології.

В основу проведеного дослідження покладено основні положення методології управління проектами, враховано принципи екології та логістики при визначенні особливостей продуктів фаз *ЖЦ* проектів *ЕЛС*.

При розробці запропонованого методу використано інструментарій теорії розпізнавання образів (фреймове моделювання, кластерний аналіз), теорії прийняття управлінських рішень (морфологічний аналіз) та теорії нечітких множин (нечіткі відношення). Фреймове моделювання застосовується при визначенні змісту продуктів фаз *ЖЦ* проекту *ЕЛС* на етапі специфікації. Створюються описові моделі продуктів у вигляді фреймів-прототипів, що містять множину необхідних для характеристики продукту фази *ЖЦ* проекту параметрів.

Кластерний аналіз використовується при формуванні кластерів продуктів проекту *ЖЦ* проекту *ЕЛС* на етапі кластеризації. Створюють інформаційні моделі, представлені фреймами-екземплярами кластерів продуктів, які містять інформацію про множину продуктів фаз *ЖЦ* проекту, що мають близькі значення параметрів.

Морфологічний аналіз та нечіткі відношення дозволяють створити мережу кластерів продуктів фаз *ЖЦ* проекту *ЕЛС* на етапі структуризації. Застосування інструментарію морфологічного аналізу та нечітких відносин обмежує кількість елементів множин кластерів продуктів проекту, що прийматимуть участь у формуванні ланцюгів продуктів проекту *ЕЛС*, та дозволяє сформувати найбільш привабливе їх поєднання з точки зору екології.

В процесі розробки методу зроблено наступні припущення та спрощення:

- в проектах *ЕЛС* необхідною умовою є включення до складу *ЖЦ* еколого-орієнтованих фаз;

– наявність зв'язків між кластерами продуктів різних фаз ЖЦ проекту визначається шляхом експертної оцінки та має певний ступінь суб'єктивності.

5. Опис методу управління конфігурацією продуктів проекту екологістичної системи

5.1. Формування змісту продуктів проекту екологістичної системи

За змістовною сутністю ЖЦ проекту ЕЛС пропонується поділяти на передінвестиційну, інвестиційну, експлуатаційну, регенеративну та ліквідаційну фази. Визначальними моментами є отримання продуктів фаз проекту, в якості яких виступають:

- на передінвестиційній фазі – документально оформлений проект ЕЛС;
- на інвестиційній фазі – ЕЛС в матеріальному уявленні;
- на експлуатаційній фазі – логістичний продукт, що включає комплекс логістичних послуг з просування прямих матеріальних та супутніх потоків;
- на регенеративній фазі – екологістичний продукт, до складу якого входить комплекс логістичних послуг з просування зворотних рециклінгово-утилізаційних та супутніх потоків;
- на ревіталізаційній фазі – відроджена екосистема (рис. 1).

Одним з основних завдань передінвестиційної фази проекту є визначення змісту продуктів проекту. Відобразити інформацію стосовно змісту продуктів проекту можливо завдяки використанню інструментарію теорії штучного інтелекту (моделювання подання знань).

Фреймове моделювання змісту продуктів фаз ЖЦ проекту ЕЛС необхідно проводити в два етапи:

1. Виявити абстрактні поняття предметної області проекту, а саме продукти фаз ЖЦ проекту та пов'язаних з ними інформаційно явищ, об'єктів, процесів і т. п. та представити їх у вигляді *фреймів-прототипів* продуктів фаз ЖЦ проекту

2. Описати конкретні об'єкти предметної області у вигляді *фреймів-екземплярів* продуктів фаз ЖЦ проекту, що відображатимуть *зміст продуктів проекту* (табл. 1).

Таблиця 1

Типи фреймів за інформаційним навантаженням в проекті

Тип фреймів	Характеристика фреймів	Слоти фрейма	Інтерпретація фреймів в проекті	Приклад фрейма в проекті
Фрейми-прототипи	Шаблони для опису абстрактних сутностей, які мають загальну структуру та поведінку.	Характеристики (параметри) фрейма без конкретних значень	Відображають знання про загальні поняття в проекті	Фаза ЖЦ проекту, продукт фази ЖЦ проекту, процес, операція, подія, ситуація ризику
Фрейми-екземплярри	Реалізація фрейма, що відображає конкретні об'єкти, явища, ситуації, процеси тощо	Характеристики (параметри) з конкретними значеннями та відповідними процедурами	Відображають знання про конкретні поняття в проекті	Продукт інвестиційної фази проекту ЕЛС, рециклінговий циркулярний процес

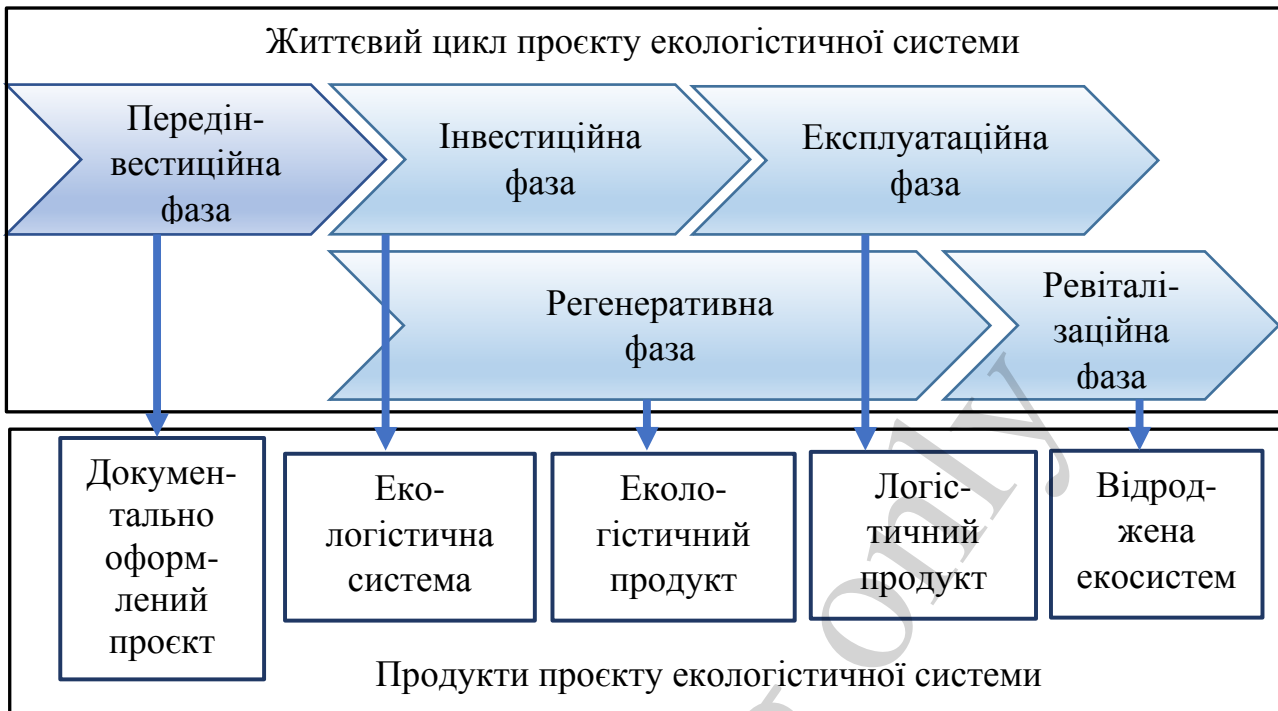


Рис. 1. Продукти проєкту екологістичної системи

Фрейм є універсальною інформаційною структурою, яка не тільки зберігає необхідну інформацію про характеристики об'єкта, явища або процесу, що досліджується, але й відображає зв'язки між ними та іншими інформаційними об'єктами. Такі властивості фреймів дозволяють створити мережу фреймів, в якій враховуватимуться взаємозв'язки між елементами, що є адекватним інструментом для відображення конфігурації продуктів фаз ЖЦ проєкту ЕЛС.

5. 2. Послідовність управління конфігурацією продуктів проєкту екологістичної системи

Специфічність продуктів, що отримуються в результаті здійснення фаз, відображається в їх конфігурації як сукупності функціональних та фізичних характеристик продуктів проєкту. Формування конфігурації продуктів фаз ЖЦ проєкту пропонується здійснювати в такій послідовності:

1. *Специфікація* параметрів продуктів полягає в створенні *описових моделей продуктів*, які відображають множину необхідних для характеристики продукту фази ЖЦ проєкту параметрів.

2. *Кластеризація* продуктів передбачає створення *інформаційних моделей кластерів продуктів*, які містять інформацію про множину продуктів фаз ЖЦ проєкту, що мають близькі значення параметрів.

3. *Структуризація* кластерів продуктів призводить до створення *мережі кластерів продуктів проєкту*, що дозволяє відобразити зв'язки між продуктами фаз ЖЦ проєкту та створити потенційну множину ланцюгів продуктів фаз проєкту (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика етапів формування продуктів фаз ЖЦ проекту ЕЛС

Етап	Інструментарій дослідження	Модель	Результат
Специфікація	Фреймове моделювання	Описові моделі продуктів	Множини параметрів продуктів фаз ЖЦ проекту
Кластеризація	Кластерний аналіз	Інформаційні моделі кластерів продуктів	Множини значень параметрів кластерів продуктів фаз ЖЦ проекту
Структуризація	Метод морфологічного аналізу, нечіткі відношення	Мережа кластерів продуктів	Множина ланцюгів продуктів фаз ЖЦ проекту

Специфікація параметрів продуктів полягає в створенні описових моделей, в яких відображаються властивості продуктів, що надають характеристику продуктів фаз ЖЦ проекту як об'єктів споживання. Для проведення специфікації пропонується застосовувати інструментарій теорії розпізнавання образів (фреймове моделювання).

На етапі специфікації визначити характеристики, які властиві продуктам фаз ЖЦ проекту, можливо за допомогою фреймів-прототипів продуктів.

Во фреймовій моделі кожен продукт описується множиною слотів – параметрів. Формування множини параметрів $X^f = \{x_1^f; \dots; x_j^f; \dots; x_{j_f}^f\}$, що характеризують продукт фази f , ($f = \overline{1; F}$) ЖЦ проекту, є евристичною операцією та залежить від необхідного обсягу інформації про продукт для проведення подальших досліджень.

Між продуктами фаз проекту ЕЛС спостерігаються взаємозв'язки, які відображають залежність характеристик одних продуктів від властивостей інших. Формування продуктів проекту у часі є результатом виконання впорядкованої послідовності робіт кожної фази ЖЦ проекту та здійснюється, починаючи з передінвестиційної й закінчуючи ревіталізаційною фазою. З точки зору процесу цілепокладання при розробці проекту послідовність формування параметрів продуктів має протилежну направленість та здійснюється, починаючи з продуктів експлуатаційної та регенеративної фази, а закінчується продуктом передінвестиційної фази (рис. 2).

Продукт експлуатаційної фази – логістичний продукт, що включає комплекс послуг по просуванню прямого матеріального потоку, генерує продукт регенеративної фази – екологістичний продукт, до складу якого належить комплекс послуг по просуванню зворотного матеріального потоку. Від характеристик прямого матеріального потоку (обсягів та складу продукту; властивостей речовин, з яких складається продукт; строку споживання та можливості вто-

ринного використання тощо) залежать характеристики зворотного рециклінго-утилізаційного потоку. До основних характеристик рециклінго-утилізаційного потоку відносяться обсяги, склад, інтенсивність потоку, рециклінгові процеси, які можливо задіяти, та ін. Також він впливає на склад учасників та структуру *ЕЛС* (її прямої лінійної ділянки).

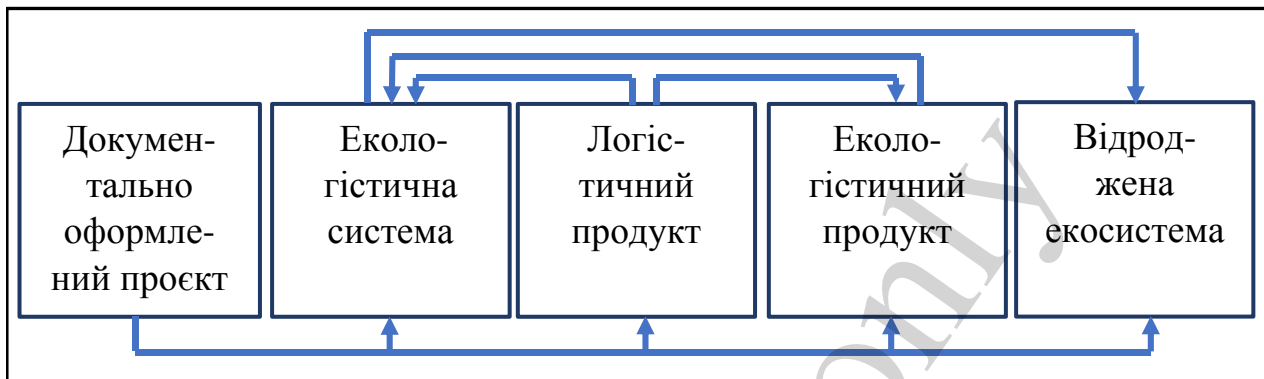


Рис. 2. Взаємозв'язки між продуктами фаз життєвого циклу проєкту екологістичної системи

На характеристики продукту інвестиційної фази впливає продукт регенеративної фази – екологістичний продукт, зокрема комплекс послуг з просування зворотного матеріального потоку. Сама же *ЕЛС* продукує продукт ревіталізаційної фази – відроджену екосистему та комплекс дій з ліквідації негативних наслідків створення та функціонування *ЕЛС*.

Характеристики всіх фаз *ЖЦ* проєкту *ЕЛС* повинні бути відображені в документально оформленому проєкті. Вони впливають на тривалість проєкту, обсяг робіт, що повинно виконати, на кожній фазі проєкту, їх бюджет та загальну ефективність проєкту тощо.

Зв'язок між фреймами продуктів фаз *ЖЦ* проєкту відображається завдяки підмножині слотів $R = \{x_1, \dots, x_r, \dots, x_R\}$, ($r = \overline{1; R}$), основним завданням елементів якої є врахування змін у змісті рецесивного продукту під впливом змін у змісті домінуючого продукту та створення конфігурації продуктів проєкту. Таку конфігурацію можна вважати базовою та застосовувати її у подальшому моніторингу стану проєкту протягом всього *ЖЦ*.

Кластеризація продуктів фаз ЖЦ проєкту полягає в створенні кластерів продуктів, що мають близькі значення параметрів. Оскільки формування характеристик продуктів здійснюється на початку *ЖЦ* проєкту, точно визначити значення параметрів є досить проблематичним. Для проведення даної процедури не вистачає необхідної інформації. Вирішити задачу можливо завдяки створенню кластерів продуктів фаз *ЖЦ* проєкту з подібними значеннями параметрів. Представляти кластери продуктів пропонується за допомогою фреймів-екземплярів кластерів продуктів, які створюються на базі фреймів-прототипів

продуктів та містять інформацію про значення слотів-параметрів продуктів, що входять до даного кластеру.

Завдання кластеризації полягає в тому, щоб простір значень параметрів продуктів поділити на області, що відповідають певним кластерам $C_{g_f}^f$, $(f = \overline{1; F})$, $(g = \overline{1; G_f})$ таким чином, щоб мінімізувати можливу кількість помилок віднесення продукту до кластеру. Утворюються множини кластерів продуктів фаз проекту $C^f = \{c_1^f; \dots; c_{g_f}^f; \dots; c_{G_f}^f\}$, $(f = \overline{1; F})$. В результаті кластеризації продукт проекту, що описується множиною параметрів $X^f = \{x_1^f; \dots; x_{j_f}^f; \dots; x_{J_f}^f\}$, $(f = \overline{1; F})$, які приймають значення $X_j^f = \{x_{j_1}^f; \dots; x_{j_n}^f; \dots; x_{j_N}^f\}$, $(j = \overline{1; J_f})$, відносяться до певного кластеру $C_{g_f}^f$.

Охарактеризувати продукти проекту можливо за допомогою кількісних та якісних параметрів. В залежності від приналежності параметру до певної групи, обирається шкала вимірювання та спосіб визначення подібності параметру. Фрейм-екземпляр кластеру повинен містити інформацію про значення якісного параметру або про діапазон значень кількісних параметрів.

Структуризація кластерів продуктів є наступним етапом формування параметрів продуктів проекту, що призводить до створення мережевої структури, в вузлах якої знаходяться кластери продуктів проекту. Кластери представлені відповідними фреймами-екземплярами, між якими існують зв'язки, що дозволяють створити множину альтернативних варіантів потенційних ланцюгів продуктів проекту.

Врахувати невизначеність при створенні ланцюгів продуктів фаз ЖЦ проекту дозволяє апарат теорії нечітких множин. З його допомогою здійснюється аналіз структурних зв'язків між кластерами. Аналіз полягає не тільки у визначенні наявності або відсутності зв'язків між певними кластерами продуктів різних фаз проекту, але і у виявленні рівнів домінування цих зв'язків. Це є важливим для подальшого створення ланцюгів продуктів фаз ЖЦ проекту.

Зв'язки між продуктами пропонується відображати у вигляді нечітких відношень між кластерами продуктів $C_{g_f}^f \mathcal{R} C_{g_{f+k}}^{f+k}$, $(k = \overline{-K; K})$, $(g = \overline{1; G_f})$. Під нечіткими відношеннями розуміють нечітке відношення \mathcal{R} на прямому добутку універсальних множин $C_{g_f}^f$ та $C_{g_{f+k}}^{f+k}$, що приймає значення на множині функції приналежності.

Нечіткі відношення між кластерами продуктів фаз проекту задаються за допомогою їх функцій приналежності $\mu_{\mathcal{R}}(C_{g_f}^f, C_{g_{f+k}}^{f+k})$, які відображають ступінь відповідності (спорідненості) між кластерами продуктів, що знаходяться на відповідних рівнях мережі та мають зв'язки.

Нечіткі відношення між кластерами продуктів представляються у вигляді матриць відношень, строкам і стовпцям яких ставляться у відповідність кластери продуктів, а на перетині строк та стовпців знаходяться функції приналежності нечітких відношень (табл. 3).

Таблиця 3

Матриця нечітких відношень між кластерами продуктів

Кластери продукту фази f проекту	Кластери продукту фази $f+k$ проекту				
	C_1^{f+k}	...	$C_{g_{f+k}}^{f+k}$	...	$C_{G_{f+k}}^{f+k}$
C_1^f	$\mu_R(C_1^f, C_1^{f+k})$	...	$\mu_R(C_1^f, C_{g_{f+k}}^{f+k})$	...	$\mu_R(C_1^f, C_{G_{f+k}}^{f+k})$
...
$C_{g_f}^f$	$\mu_R(C_{g_f}^f, C_1^{f+k})$	...	$\mu_R(C_{g_f}^f, C_{g_{f+k}}^{f+k})$	...	$\mu_R(C_{g_f}^f, C_{G_{f+k}}^{f+k})$
...
$C_{G_f}^f$	$\mu_R(C_{G_f}^f, C_1^{f+k})$	...	$\mu_R(C_{G_f}^f, C_{g_{f+k}}^{f+k})$	...	$\mu_R(C_{G_f}^f, C_{G_{f+k}}^{f+k})$

Інформація про нечіткі відношення між кластерами продуктів дозволяє сформулювати на мережі продуктів множину варіантів ланцюгів продуктів фаз ЖЦ проекту, базуючись на нечітких відношеннях та ступенях домінування цих відношень.

При створенні ланки ланцюга між кластерами, що знаходяться на різних рівнях мережі, обираються ті кластери, ступінь домінування нечітких відносин між якими досягає максимально можливого значення.

В ієрархічному порядку рівні мережі розташовуються наступним чином (знизу догори):

– кластери продуктів експлуатаційної фази – комплексів логістичних послуг з просування прямого матеріального потоку $C_g^3 = \{C_1^3; \dots; C_{g_3}^3; \dots; C_{G_3}^3\}$,

– кластери продуктів регенеративної фази – комплексів послуг з просування зворотного матеріального потоку $C_g^4 = \{C_1^4; \dots; C_{g_4}^4; \dots; C_{G_4}^4\}$,

– кластери продуктів інвестиційної фази – ЕЛС $C_g^2 = \{C_1^2; \dots; C_{g_2}^2; \dots; C_{G_2}^2\}$,

– кластери продуктів ліквідаційної фази – варіантів відродження екосистеми $C_g^5 = \{C_1^5; \dots; C_{g_5}^5; \dots; C_{G_5}^5\}$,

– кластери продуктів передінвестиційної фази – документально оформлених проектів ЕЛС $C_g^1 = \{C_1^1; \dots; C_{g_1}^1; \dots; C_{G_1}^1\}$ (рис. 3).

Також при просуванні по мережі необхідно враховувати порогові значення ступеню домінування відношень, який визначається пріоритетністю створення зв'язку між кластерами продуктів з погляду досягнення максимальної цінності екологічного проекту.

У випадку, якщо функція приналежності не досягає порогового значення $\mu_R(C_{g_f}^f, C_{g_{f+k}}^{f+k}) < \alpha_{\mu_R}$, нечітке співвідношення вважається незначним. Отже, просування по даному напрямку та включення даної ділянки в ланцюг продуктів не є доцільним.

В іншому випадку, коли функція приналежності подолала порогове значення $\mu_R(C_{g_f}^f, C_{g_{f+k}}^{f+k}) \geq \alpha_{\mu_R}$, просування на інший рівень мережі по даній гілці є можливим.

Формуються множини варіантів пар кластерів продуктів фаз проекту $C^{f:f+k} = \left\{ (C_{g_f}^f; C_{g_{f+k}}^{f+k})_1; \dots; (C_{g_f}^f; C_{g_{f+k}}^{f+k})_{s_{f:f+k}}; \dots; (C_{g_f}^f; C_{g_{f+k}}^{f+k})_{s_{f:f+k}} \right\}$, $(f = \overline{1; F})$, $(g = \overline{1; G})$, $(k = \overline{-K; K})$, до складу яких входять пари кластерів певних рівнів мережі, між якими встановлено зв'язки, що подолали поріг функції приналежності нечітких відношень.

На мережі кластерів продуктів фаз проекту *ЕЛС* створюються наступні множини пар кластерів: $C^{3;4}; C^{3;2}; C^{4;2}; C^{2;5}; C^{3;1}; C^{4;1}; C^{2;1}; C^{5;1}$.

Підхід, що передбачає розглядання всіх можливих варіантів пар кластерів, гарантує їх участь у подальшому дослідженні ланцюгів продуктів та потребує значного часу на розрахунки. Звести завдання до меншої розмірності та значно зменшити кількість розрахунків дозволяє застосування морфологічного синтезу ланцюгів продуктів, який направлений на створення оптимального за критерієм цінності ланцюгу.

Пріоритетність застосування ланцюгу l_h , $(h = \overline{1; H})$ продуктів фаз проекту з множини ланцюгів $L = \{l_1; \dots; l_h; \dots; l_H\}$ визначають шляхом розрахунку загального значення ступеню домінування нечітких відношень. Формалізація процесу здійснюється шляхом підсумування значень функцій приналежності нечітких відношень між кластерами продуктів, розташованих на певній гілці мережі,

$$D(l_h) = \sum_f \mu_R(C_{hg_f}^f; C_{hg_{f+k}}^{f+k}), \quad \forall C_{g_f; g_{f+k}}^{f:f+k} \in l_h. \quad (1)$$

Таким чином, до ланцюгів продуктів попадають ті кластери, які забезпечують максимально можливе значення загальної цінності продуктів, що потрапляють у кластери, розташовані на ланцюгу.

Таким чином, є можливим сформулювати конфігурацію продуктів проекту у вигляді ланцюгу продуктів, що володіють такими значеннями параметрів продуктів, завдяки яким можливо досягти максимального значення цінності проекту *ЕЛС* з точки зору виконанням правил екології.

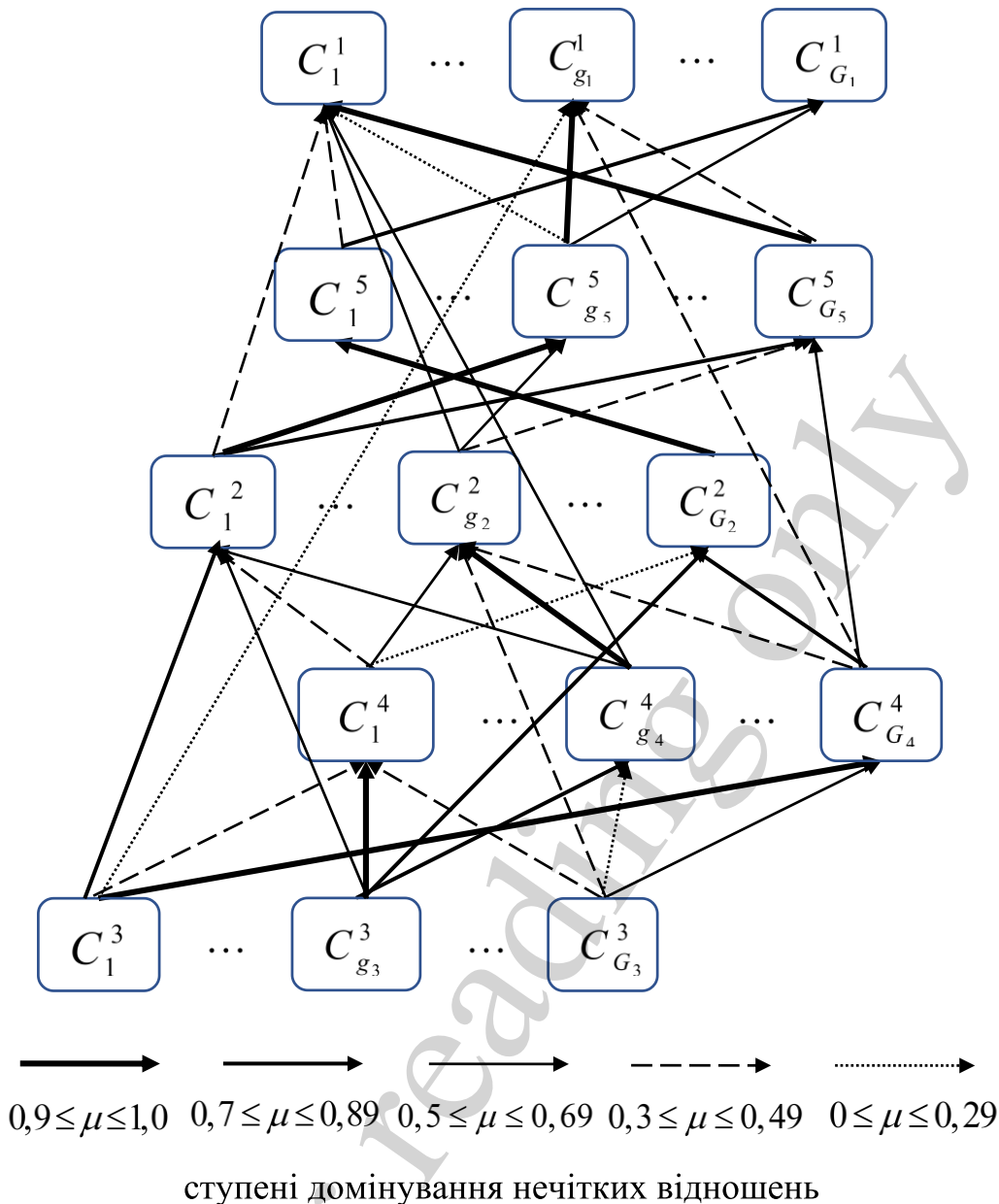


Рис. 3. Мережа кластерів продуктів фаз життєвого циклу проекту екологістичної системи

5.3. Експериментальні розрахунки, що підтверджують обґрунтованість застосування методу управління конфігурацією продуктів проекту екологістичної системи

Специфікація параметрів продуктів полягає в створенні описових моделей, в яких відображено множину необхідних для характеристики продукту фази ЖЦ проекту параметрів. В подальшому дослідженні прийматимуть участь кластери, до складу яких входять продукти, що мають допустимі значення параметрів. В приведеному прикладі допустимими є такі кластери, значення всіх експертних оцінок характеристик продуктів яких перевищують поріг 4 бали (табл. 4).

Таблиця 4
Описові моделі продуктів проєкту *ЕЛС*

Кластери продуктів	<i>ПД</i> – C^1			<i>ЕЛС</i> – C^2			<i>ЛП</i> – C^3			<i>ЕЛП</i> – C^4			<i>ЕС</i> – C^5		
	Параметри продуктів														
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	7	9	5	7	2	3	1	5	6	9	4	2
2	3	4	5	9	7	2	6	4	4	6	3	2	8	9	4
3	1	6	4	8	3	5	4	9	7	5	6	8	4	1	5
4	4	5	6	9	7	4	2	6	5	8	9	4	6	5	2
5	2	1	6	4	9	7	2	5	6	4	8	9	5	1	2
6	3	4	6	9	5	2	1	6	5	4	2	3	6	7	8
7	6	2	5	6	4	5	6	9	7	5	1	3	5	6	4
8	4	6	5	4	8	4	1	3	5	1	6	9	7	5	3
9	3	6	4	5	6	5	4	5	8	9	6	1	2	4	6
10	2	6	4	2	7	9	2	3	6	4	5	8	2	1	6

Нечіткі відношення між кластерами продуктів фаз проєкту задаються за допомогою їх функцій приналежності, які відображають ступінь відповідності між кластерами продуктів, що знаходяться на відповідних рівнях мережі та мають інтеграційні зв'язки. Приклад нечітких відношень між кластерами C^3 та C^4 продуктів фаз *ЖЦ* проєкту *ЕЛС* представлено в табл. 5.

Таблиця 5
Нечіткі відношення між кластерами C^3 та C^4 продуктів фаз життєвого циклу проєкту екологістичної системи

Кластер C^3	2				3				7				9			
Кластер C^4	3	4	5	10	3	4	5	10	3	4	5	10	3	4	5	10
$\mu_B(C^3, C^4)$	0, 7	0, 6	0, 5	0, 3	0, 4	0, 5	0, 6	0, 8	0, 4	0, 5	0, 2	0, 6	0, 3	0, 5	0, 6	0, 8

В подальшому дослідженні приймуть чотири кластери C^3 (2; 3; 7; 9) та чотири кластери C^4 (3; 4; 5; 10) продуктів фаз *ЖЦ* проєкту *ЕЛС*. Між кластерами встановлено 16 зв'язків, з яких 11 мають допустиме значення функції приналежності нечітких відношень ($\geq 0,5$). Аналогічні розрахунки робляться для кластерів інших продуктів проєкту.

Інформація про нечіткі відношення між кластерами продуктів дозволяє сформулювати на мережі продуктів множину варіантів окремих ділянок ланцюгів продуктів фаз *ЖЦ* проєкту. Приклад формування ділянки ланцюгів продуктів $C^{3;4}$ та $C^{4;2}$ представлено в табл. 6.

Відповідно отриманим варіантам ділянок ланцюгів, складаються варіанти ланцюгів кластерів продуктів фаз *ЖЦ* проєкту *ЕЛС*. В результаті проведених

розрахунків, з урахуванням всіх можливих варіантів та обмежень, було сформовано 59 ланцюгів кластерів продуктів фаз ЖЦ проекту ЕЛС, які відрізняються значенням домінування нечітких відношень. Для ланцюгів кластерів було розраховане загальне значення ступеню домінування нечітких відношень. Максимальне значення ступеню домінування нечітких відношень $D(l_{40})=5,4$ було отримано для ланцюгу кластерів продуктів, який формується з оптимальної множини пар кластерів, яка утворюється шляхом морфологічного відбору, $\{C_{3;10}^{3;4}; C_{10;7}^{4;2}; C_{3;7}^{3;2}; C_{7;2}^{2;5}; C_{2;4}^{5;1}; C_{7;4}^{2;1}; C_{3;4}^{3;1}; C_{10;4}^{4;1}\}$. Таким чином, формується конфігурація кластерів, до складу якої входять кластери продуктів $\{C_3^3; C_{10}^4; C_7^2; C_2^5; C_4^1\}$ (рис. 4).

Таблиця 6

Ділянки ланцюгів продуктів $C^{3;4}$ та $C^{4;2}$ фаз життєвого циклу проекту екологічної системи

$C^{3;2}$	$C^{4;2}$															
$C^{3;4}$	3-1	3-4	3-5	3-7	3-8	4-1	4-4	4-5	4-7	4-8	5-1	5-4	5-7	10-4	10-7	10-9
2-3	2-1	2-4	-	2-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-4	-	-	-	-	-	2-1	2-4	-	2-7	-	-	-	-	-	-	-
2-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2-1	2-4	2-7	-	-	-
3-4	-	-	-	-	-	3-1	3-4	-	3-7	3-8	-	-	-	-	-	-
3-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3-1	3-4	3-7	-	-	-
3-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3-4	3-7	-
7-4	-	-	-	-	-	-	7-4	7-5	-	-	-	-	-	-	-	-
7-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7-4	-	7-9
9-4	-	-	-	-	-	-	9-4	9-5	-	9-8	-	-	-	-	-	-
9-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9-4	-	-	-	-
9-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9-4	-	9-9

При подальшому формуванні ланцюгів продуктів фаз ЖЦ проекту ЕЛС необхідно застосувати продукти, що потрапляють до кластерів, які містить представлена конфігурація. Це дозволить досягти максимальної цінності отримуваних у проекті продуктів з точки зору виконання правил екологістики.

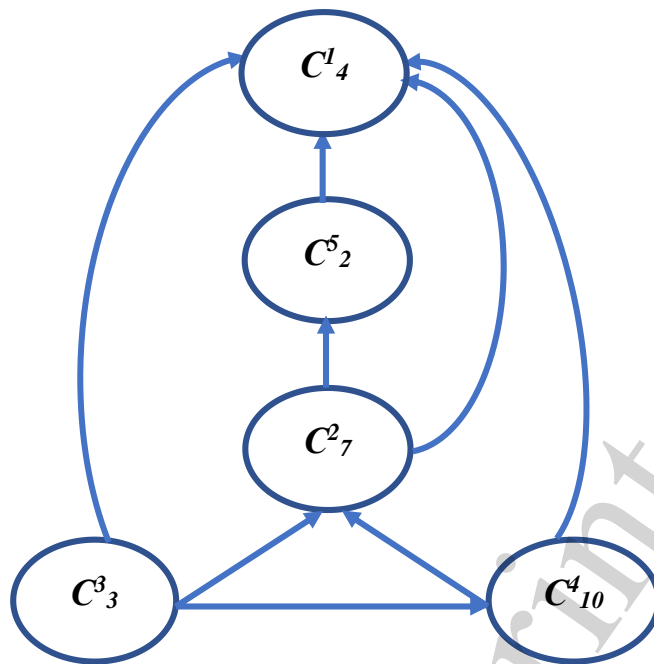


Рис. 4. Приклад конфігурації кластерів продуктів фаз життєвого циклу проекту екологістичної системи

6. Обговорення результатів розробки методу управління конфігурацією продуктів проекту екологістичної системи

Розроблений метод управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС* базується на застосуванні удосконаленої моделі *ЖЦ* проекту *ЕЛС*. Запропонована модель на відміну від представленої у стандарті [12], що включає загальноприйнятні передінвестиційну, інвестиційну, експлуатаційну фази, має екологоорієнтовані регенеративну і ревіталізаційну фази. Наявність екологоорієнтованих фаз призводить до замикання логістичної системи та перетворення її на екологістичну. Такий підхід дозволяє сформувати множину продуктів проекту *ЕЛС*, до складу якої входять продукти кожної з фаз *ЖЦ*: документально оформлений проект, екологістична система, логістичний продукт, екологістичний продукт, відроджена екосистема (рис. 1). Включення до складу продуктів проекту таких, що отримуються в результаті здійснення екологоорієнтованих фаз, дозволяє чітко визначити їх зміст. В подальшому це відіб'ється на складі та вартості робіт, направлених на мінімізацію екодеструктивного впливу на довкілля від реалізації проекту *ЕЛС*.

Ідентифікація продуктів проекту *ЕЛС* та визначення їх специфічних особливостей показали наявність зв'язків між продуктами та вплив характеристик продуктів одних фаз на зміст продуктів інших фаз (рис. 2). Ця властивість застосовується при формуванні змісту продуктів з використанням інструментарію розпізнавання образів (фреймового моделювання) на етапі специфікації запропонованого методу при створенні множин параметрів продуктів (табл. 2). Роз-

робка описових фреймових моделей продуктів проекту *ЕЛС* дозволяє визначити наявність зв'язків між характеристиками продуктів.

Метод управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС* складається з трьох етапів: специфікації параметрів продуктів, кластеризації продуктів та структуризації кластерів продуктів, між якими дотримується логіка проведення наукового дослідження. Вихідні результати попереднього етапу обґрунтовано є вхідними даними для проведення наступного етапу (табл. 2), що підтверджується результатами експериментальних розрахунків (табл. 4–6).

Застосування кластерного аналізу на етапі кластеризації продуктів дозволило створити інформаційні моделі, представлені фреймами-екземплярами кластерів продуктів, які містять інформацію про множини продуктів фаз *ЖЦ* проекту, що мають близькі значення параметрів. Фрейми-екземпляри кластерів містять інформацію про значення якісних параметрів або про діапазон значень кількісних параметрів, що дозволяє знизити ступінь невизначеності стосовно змісту продуктів проекту *ЕЛС*.

Структуризація кластерів продуктів полягає у створенні зв'язків між кластерами (табл. 3), які визначаються за допомогою нечітких відносин. Наявність зв'язків між кластерами показує можливість просування по рівням створеної мережі кластерів продуктів (рис. 4). Застосування інструментарію морфологічного методу та нечітких відношень дозволяє значно скоротити кількість розрахунків, оскільки визначає множину допустимих ланцюгів кластерів продуктів фаз *ЖЦ* проекту. Визначення максимального значення ступеню домінування нечітких відношень для ланцюгів кластерів продуктів з застосуванням формули (1) дозволяє обрати найкращу конфігурацію продуктів проекту *ЕЛС* з точки зору виконання правил екології. Приклад створеної конфігурації продуктів представлений на рис. 4.

Перевагами запропонованого методу управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС* є наступне.

Застосування удосконаленої моделі *ЖЦ* проекту *ЕЛС*, яка на відміну від стандартних підходів включає еколого-орієнтовані фази, дозволяє дотриматись правил екології та знизити екодеструктивний вплив логістичної діяльності на довкілля. Така спрямованість дослідження є актуальною з погляду досягнення екологічних цілей сталого розвитку.

Визначення якісних та кількісних характеристик продуктів, що отримуються на різних фазах *ЖЦ* проекту *ЕЛС*, та встановлення зв'язків між ними на етапі специфікації, дозволяє побудувати описові моделі продуктів, представлені їх фреймами-прототипами. Ця процедура призводить до деталізації характеристик продуктів, необхідної для здійснення наступних етапів методу.

Проведення кластеризації продуктів з застосуванням фреймів-екземплярів кластерів продуктів дозволяє утворити кластери, до яких належитимуть продукти з подібними значеннями якісних та кількісних характеристик. Таким чином можливо знизити ступінь невизначеності при плануванні змісту майбутніх продуктів проекту.

До недоліків розробленого методу управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС* можна віднести:

Застосування інструментарію нечітких відношень при визначенні зв'язів між кластерами продуктів та ступенів домінування нечітких відношень при формуванні мережі кластерів (рис. 3) має суб'єктивний характер та може вплинути на релевантність подальших результатів дослідження.

Побудована в результаті проведення експериментальних розрахунків конфігурація, що складається з кластерів $\{C_3^3; C_{10}^4; C_7^2; C_2^5; C_4^1\}$ (рис. 4), відповідає продуктам, характеристики яких були визначені на етапі специфікації. У випадку значних змін вхідних значень, в результаті яких відбудуться зміни у визначені приналежності продукту до певного кластеру, конфігурація продуктів також зазнає змін. Тобто вже побудована конфігурація може використовуватись в обмеженому діапазоні значень вхідних характеристик продуктів проекту.

В запропонованому методі не розглядається механізм утворення оптимальних ланцюгів продуктів проекту *ЕЛС*, що є об'єктом подальших наукових досліджень.

7. Висновки

1. Врахувати екодеструктивний вплив на довкілля можливо завдяки включенню до *ЖЦ* проекту *ЕЛС* крім основних: передінвестиційної, інвестиційної та експлуатаційної, еколого-орієнтованих фаз: регенеративної та ревіталізаційної, тобто його тривалість складатиметься з п'яти фаз. Кожній фазі відповідає отримання певного продукту, характеристики якого формують зміст продукту, визначити який пропонується за допомогою фреймових моделей. На основі фреймів-прототипів створюються фрейми-екземпляри, які містять інформацію про значення якісних параметрів або про діапазон значень кількісних параметрів продуктів проекту. Застосування фреймового моделювання дозволяє врахувати специфічні особливості продуктів фаз *ЖЦ* проекту *ЕЛС* та визначити зв'язки між ними, що застосовуватиметься у подальшому дослідженні.

2. Запропонований метод управління конфігурацією продуктів проекту *ЕЛС* включає три етапи: специфікацію параметрів продуктів, кластеризацію продуктів, структурування кластерів продуктів проекту. Специфікація параметрів продуктів полягає в створенні описових фреймових моделей продуктів, які відображають множину необхідних для характеристики продукту фази проекту параметрів. Кількість та значення параметрів залежить від специфіки продукту фази *ЖЦ* проекту *ЕЛС*. Кластеризація продуктів передбачає створення інформаційних моделей кластерів продуктів, які містять інформацію про множину продуктів фаз проекту, що мають близькі значення параметрів. Структурування кластерів продуктів призводить до створення мережі кластерів, що дозволяє відобразити зв'язки між продуктами фаз проекту та створити мережу продуктів фаз *ЖЦ* проекту *ЕЛС*. Існує ієрархія розташування рівнів мережі. Кластери продуктів експлуатаційної фази (комплексів логістичних послуг з просування прямого матеріального потоку) розташовуються на першому рівні. Кластери продуктів регенеративної фази (комплексів послуг з просування зворотного матеріального потоку) розташовуються на другому рівні. Кластери продуктів інвестиційної фази (*ЕЛС*) розташовуються на третьому рівні. Кластери продуктів ліквідаційної фази (варіантів відродження екосистеми) розташовуються на чет-

вертому рівні. Кластери продуктів передінвестиційної фази (документально оформлених проєктів *ЕЛС*) розташовуються на п'ятому рівні. Такий розподіл кластерів продуктів по рівням мережі дозволяє врахувати взаємний вплив продуктів один на одного.

3. Експериментальні розрахунки з застосуванням запропонованого методу управління конфігурацією продуктів проєкту *ЕЛС* підтвердили адекватність застосування запропонованого методу та дозволили створити мережу кластерів продуктів *ЕЛС*. До складу мережі увійшли кластери продуктів всіх фаз *ЖЦ* проєкту, що мають максимальну цінність з точки зору виконання правил екологістики.

Таким чином, використання запропонованого методу управління конфігурацією продуктів проєкту *ЕЛС* дозволяє врахувати специфічні особливості даної категорії проєктів, а саме їх екологічну цінність. Це стає можливим завдяки виділенню додаткових еколого-орієнтованих фаз *ЖЦ* проєкту *ЕЛС* та врахуванню характеристик їх продуктів при визначенні змісту та формуванні конфігурації продуктів проєкту.

Література

1. Van Buren, N., Demmers, M., van der Heijden, R., Witlox, F. (2016). Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. *Sustainability*, 8 (7), 647. doi: <https://doi.org/10.3390/su8070647>
2. Kovtun, T. (2020). A model of closed circuits forming in a logistics system with feedback. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4 (14), 113–120. doi: <https://doi.org/10.30837/itssi.2020.14.113>
3. Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. *Netherlands Environmental Assessment Agency*, 46. URL: <https://5dok.net/document/rz3djj7y-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains.html>
4. Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
5. Rudenko, S., Gogunskii, V., Kovtun, T., Smrkovska, V. (2021). Determining the influence of transformation changes in the life cycle on the assessment of effectiveness of an ecologicistic system project. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (109)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225262>
6. Rudenko, S., Kovtun, T. (2021). Creation of the Eco-Logistic system project products configuration in the conditions of uncertainty. *Proceedings of the 2nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2021)*. Vol. 2851. CEUR Workshop Proceedings. Slavsko, 195–205. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2851/paper18.pdf>
7. MIL–HDBK–61. Military Handbook. Configuration Management Guidance. URL: [https://www.product-lifecycle-management.com/download/MIL-HDBK-61B%20\(Draft\).pdf](https://www.product-lifecycle-management.com/download/MIL-HDBK-61B%20(Draft).pdf)

8. Practice Standard for Project Configuration Management (2007). Project Management Institute, 53. URL: http://nioec.ir/Training/%D9%85%D8%AF%DB%8C%D8%B1%DB%8C%D8%AA%20%D9%BE%D8%B1%D9%88%DA%98%D9%87/PMI/PMI_Standard/PS_ProjectConfiguration.pdf
9. Морозов, В. В., Рудницкий, С. И. (2013). Концептуальная модель процесса управления конфигурацией в проектах. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 1 (10 (61)), 187–193. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/6766/6016>
10. Сидорчук, О. В., Ратушний, Р. Т., Щербаченко, О. М., Сіваковська, О. М. (2016). Узгодження конфігурацій систем-продуктів та їх проектів. *Управління розвитком складних систем*, 25, 58–65. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/5205/9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
11. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBoK) – Six Edition. PMI, 574.
12. Кононенко, И. В., Колесник, М. Э., Лобач, Е. В. (2014). Процесс многокритериальной оптимизации содержания проекта при использовании методологии PMBoK. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами»*, 2 (1045), 11–17. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/4973/1/vestnik_HPI_2014_2_Kononenko_Protsess.pdf
13. Atkinson, R., Crawford, L., Ward, S. (2006). Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management. *International Journal of Project Management*, 24 (8), 687–698. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.09.011>
14. Кононенко, И. В., Колесник, М. Э. (2013). Модель и метод многокритериальной оптимизации содержания проекта при нечетких исходных данных. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 1 (10 (61)), 9–13. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/6949/5961>
15. Cheng, M.-Y., Tran, D.-H., Wu, Y.-W. (2014). Using a fuzzy clustering chaotic-based differential evolution with serial method to solve resource-constrained project scheduling problems. *Automation in Construction*, 37, 88–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.002>
16. Hassanzadeh, F., Collan, M., Modarres, M. (2012). A Practical Approach to R&D Portfolio Selection Using the Fuzzy Pay-Off Method. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20 (4), 615–622. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2011.2180380>
17. Kovtun, T. (2020). Frame models of the ecological system project. *Transport Development*, 1 (6), 17–29. doi: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.02>