

Т. А. КОВТУН**ФОРМУВАННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОЄКТУ ЕКОЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ**

Стаття присвячена дослідженню особливостей життєвого циклу проекту екологістичної системи, функціонування якої базується на принципах циркулярної економіки як сучасної економічної моделі, що дозволяє досягти цілей сталого розвитку. Актуальність представленого дослідження підтверджується необхідністю врахування екодеструктивного впливу на навколишнє середовище при здійсненні господарчої діяльності, оскільки створений за останні століття техногенний лінійний тип економіки призвів до екологічної кризи та виявився нездатним забезпечити збалансований цивілізаційний розвиток без шкоди для довкілля. Розглянуто питання структури життєвого циклу проекту екологістичної системи, в якому враховується екологічна направленість даного виду проєктів. До складу життєвого циклу проекту екологістичної системи пропонується включати п'ять фаз: передінвестиційну, інвестиційну, експлуатаційну, регенеративну та ревіталізаційну, що поділяються на етапи, на протязі яких створюється проміжний результат проєкту. З використанням інструментарію теорії категорій створено графічну модель життєвого циклу проєкту екологістичної системи для двох варіантів умов визначення тривалості життєвого циклу: строго та нестрого визначених. Запропоновано компенсаційний механізм для стабілізації тривалості життєвого циклу у випадку її строгого визначення, який передбачає коригування тривалості кодоменив у визначених морфізмах категорій.

Ключові слова: екологістична система, життєвий цикл проєкту, фази та етапи життєвого циклу, модель життєвого циклу, часові характеристики життєвого циклу.

Т. А. КОВТУН**ФОРМИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОЕКТА ЭКОЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Статья посвящена исследованию особенностей жизненного цикла проекта экологической системы, функционирование которой основано на принципах циркулярной экономики как современной экономической модели, позволяющей достичь целей устойчивого развития. Актуальность представленного исследования подтверждается необходимостью учета экодеструктивного воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной деятельности, поскольку созданный за последние столетия техногенный линейный тип экономики привел к экологическому кризису и оказался неспособным обеспечить сбалансированное цивилизационное развитие без ущерба для окружающей среды. Рассмотрены вопросы структуры жизненного цикла проекта экологической системы, в котором учитывается экологическая направленность данного вида проектов. В состав жизненного цикла проекта экологической системы предлагается включать пять фаз: прединвестиционную, инвестиционную, эксплуатационную, регенеративную и ревитализационную, которые делятся на этапы, на протяжении которых создается промежуточный результат проекта. С использованием инструментария теории категорий создана графическая модель жизненного цикла проекта, в которой между фазами устанавливаются последовательные и перекрывающиеся связи. Проанализированы связи между этапами жизненного цикла, представленные посредством объектов (доменов и кодоменов) и морфизмов (последовательных и параллельных, входящих и исходящих) категории «жизненный цикл проекта экологической системы». Определена зависимость между продолжительностью этапов одной и той же или разных фаз жизненного цикла проекта. Определены временные параметры фаз, этапов и временных интервалов жизненного цикла проекта. Представлена математическая модель жизненного цикла проекта экологической системы для двух вариантов определения продолжительности жизненного цикла: строго и нестрого определенных. Предложен компенсационный механизм для стабилизации продолжительности жизненного цикла в случае ее строгого определения, предусматривающий корректировку продолжительности кодоменов в определенных морфизмах категории.

Ключевые слова: экологическая система, жизненный цикл проекта, фазы и этапы жизненного цикла, модель жизненного цикла, временные характеристики жизненного цикла.

Т. KOVTUN**FORMATION OF TIME PARAMETERS OF THE LIFE CYCLE OF AN ECOLOGY SYSTEM PROJECT**

The article is devoted to the study of the features of the life cycle of an ecological system project, the functioning of which is based on the principles of circular economy as a modern economic model that allows achieving the goals of sustainable development. The relevance of the presented research is confirmed by the need to take into account the eco-destructive impact on the environment in the implementation of economic activities, since the technogenic linear type of economy created over the past centuries has led to an environmental crisis and turned out to be unable to ensure balanced civilizational development without damage to the environment. The issues of the structure of the life cycle of an ecological system project are considered, which takes into account the ecological orientation of this type of projects. It is proposed to include five phases in the life cycle of an ecological system project: pre-investment, investment, operational, regenerative and revitalization, which are divided into stages during which the intermediate result of the project is created. Using the tools of category theory, a graphical model of the project life cycle was created, in which successive and overlapping links are established between phases. The links between the stages of the life cycle are analyzed, represented by objects (domains and codomains) and morphisms (sequential and parallel, incoming and outgoing) of the category «Life Cycle of an Ecological System Project». The relationship between the duration of stages of the same or different phases of the project life cycle has been determined. The time parameters of the phases, stages and time intervals of the project life cycle have been determined. A mathematical model of the life cycle of an ecological system project is presented for two options for determining the duration of the life cycle: strictly and loosely defined. A compensation

© Т. А. Ковтун, 2021

mechanism has been proposed to stabilize the life cycle duration in the case of its strict definition, which provides for the adjustment of the duration of codomains in certain morphisms of the category.

Keywords: ecological system, project life cycle, phases and stages of the life cycle, life cycle model, time characteristics of the life cycle.

Вступ. На початку XXI століття проблема нестійкого розвитку сучасної цивілізації набула нового якісного стану та досягла своєї межі. Економіка, побудована на принципах технократії і нееквівалентного соціоприродного обміну, не здатна забезпечити довготривалий сталий розвиток людству. Сьогодні біосфера не в змозі боротися з людською діяльністю, в ній почалися незворотні зміни. Вже стало очевидним, що суперечності між постійно зростаючими потребами суспільства і обмеженими можливостями природи ставлять під загрозу подальше існування людини як біологічного виду [1].

Гармонійного узгодження компонентів сталого розвитку, що забезпечує економічне зростання, соціальну стабільність та екологічну рівновагу в довгостроковій перспективі можливо досягти завдяки впровадженню принципів циркулярної (замкнутої) економіки [2]. Перехід до циркулярної економіки набуває глобального характеру, і переваги впровадження даної концепції стають все більш очевидними. За оцінками експертів в 2025 році циркулярна економіка може щорічно забезпечувати приріст доходу світової економіки понад 1 трлн. доларів США. Крім цього, перехід до циркулярної економіки створить величезні можливості для модернізації виробництва і впровадження промислових інновацій, забезпечуючи щорічний приріст ВВП на 7% [3]. Інструментом впровадження циркулярної моделі економіки є екологічно-орієнтовані логістичні системи.

Постановка проблеми. Підвищення результативності створення, функціонування та

розвитку екологістичних систем потребує застосування сучасних підходів до управління складними соціально-економічними системами, зокрема проектного підходу, який базується на використанні інструментарію методології управління проектами.

З позицій проектного підходу екологістична система розглядається як унікальний результат, що отримується від цілеспрямованої тимчасової діяльності. Отже, на проект створення екологістичної системи відводиться обмежений час, який прийнято називати життєвим циклом (ЖЦ) проекту. Успішне створення екологістичної системи потребує застосування моделей та методів управління проектами, в тому числі розробки моделі ЖЦ проекту екологістичної системи (ЕЛС) та визначення зв'язків між його часовими параметрами.

Аналіз літературних джерел. ЖЦ є одним з основних понять не тільки проектного, але й системного, біологічного, логістичного, маркетингового та інших підходів. Відповідно до [4] ЖЦ (life cycle, LC) – це розвиток системи, продукту, послуги, проекту або інших виготовлених людиною об'єктів, починаючи зі стадії розробки концепції та закінчуючи припиненням використання.

В залежності від об'єкту дослідження, існує багато різновидів ЖЦ: організації, продукту, товару, інформації, клієнта, команди, проекту, документу, інновації, логістичної системи тощо. В управлінні проектами під ЖЦ проекту розуміють період часу від початку до завершення проекту (табл. 1).

Таблиця 1 – Трактування поняття «життєвий цикл проекту»

A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) [5] Період часу від початку до завершення проекту називається життєвим циклом проекту.
Руководство по проектному менеджменту. Национальный Стандарт РФ [6] Життєвий цикл проекту охоплює період часу від початку проекту до його планового завершення або дострокового припинення.
P2M «Program & Project Management for Enterprise Innovation» [7] Кожен проект може бути охарактеризований тривалістю – проміжком часу від формування замислу проекту до завершення проекту.

ЖЦ проекту поділяються на фази, склад і зміст яких визначається потребами управління і контролю. Фази проекту – це окремі частини в межах проекту, які потребують додаткового контролю для ефективного управління досягненням основного результату проекту [6].

Фази проекту можуть відрізнятися не тільки кількісно, але і якісно – при однаковій назві, фази в різних прикладних сферах можуть мати різне змістовне навантаження. Навіть в одній прикладній сфері проекти можуть відрізнятися по кількості та тривалості фаз життєвого циклу [8].

Відповідно P2M кожна фаза проекту може бути охарактеризована певною властивістю в рамках місії, що виконується, та задач, що вирішуються.

Таким чином, процес формування ЖЦ проекту є універсальним. Типовий ЖЦ проекту включає початкову, проміжну та завершальну фази. Проміжна фаза може бути поділена на дві та більше фаз [5].

Проект вважається закінченим, коли досягнуті його цілі. Нажаль, в сучасних умовах до цілей проекту не завжди включається екологічний аспект, і проект вважається завершеним, коли припиняється виробництво продуктів або надання послуг та надходження грошових коштів від їх реалізації. В Стандартах, що регламентують управлінську діяльність з урахуванням екологічного аспекту, життєвий цикл має свої специфічні особливості (табл. 2).

Таблиця 2 – Трактують поняття «життєвий цикл», що враховують екологічний аспект

Международный стандарт ISO 14001:2015. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению [9] Життєвий цикл (life cycle) – послідовні стадії системи виробництва продуктів (або послуг) від придбання сировини або вироблення з природних ресурсів до остаточної утилізації.
Национальный стандарт РФ. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла [10] Життєвий цикл (life cycle) – послідовні та взаємопов'язані стадії системи життєвого циклу продукції від придбання або виробництва з природних ресурсів або сировини до остаточного розміщення в навколишньому середовищі.
Национальный стандарт РФ. Устойчивое развитие в сообществах. Система менеджмента [11] Життєвий цикл – послідовні та взаємозв'язані стадії продукції (або послуг), від закупівлі сировини або виробництва з природних ресурсів до утилізації.

Зростаюча важливість проблеми захисту навколишнього середовища і можливих впливів, пов'язаних з продукцією, що виготовляється та споживається, потребує подовження ЖЦ за рахунок додавання еколого-орієнтованих фаз (етапів, стадій). Відповідно до [9] стадії ЖЦ повинні включати в себе придбання сировини, проектування, виробництво, транспортування/постачання, застосування, переробку після втрати придатності і остаточну утилізацію. В [10] оцінка ЖЦ включає розгляд всього ЖЦ продукту від видобутку сировини і його придбання, включаючи виробництво енергії, матеріалу і виготовлення, до застосування продукту і наступного припинення його використання і остаточної утилізації.

Для врахування специфічних особливостей життєвого циклу різноманітних систем, в тому числі проектів, будується модель ЖЦ. Модель життєвого циклу уявляє собою структуру процесів та дій, пов'язаних з життєвим циклом, що організуються в стадії, які також служать в якості загального посилення для встановлення зв'язків та взаєморозуміння сторін. Кожна стадія описується формулюванням цілей та виходів [4].

Модель ЖЦ представляється в вигляді послідовності стадій, які можуть перекриватись і (або) повторюватись циклічно відповідно до галузі застосування, розміром, складністю, потребою в змінах та можливостях [4].

Особливої уваги заслуговують дослідження моделей життєвих циклів проектів, якими займалися такі дослідники, як І.А. Бабаєв, С.Д. Бушуєв, Ф. Бег'юлі, В.Д. Гогунський, А.А. Літвінченко, І.І. Мазур, В.В. Малий, В.М. Молоканова, Дж.К. Пінто, Н.Г. Ольдерогге, В.А. Рач, В.Д. Шапіро тощо.

Життєвий цикл проекту (його тривалість, виділення окремих фаз та етапів) в значній мірі залежать від характеристик самого проекту (сфери застосування, масштабів, складності тощо). В особливу категорію проектів виділяються проекти логістичних систем. Визначенню особливостей проектування логістичних систем присвячені роботи М.П. Денисенка, Є.В. Крикавського, П.Р. Левковця, Л.І. Михайлової, Н.М. Піддубної, М.Я. Постана, Н.І. Чухрай, Т.М. Шутенко тощо. Дослідження життєвого циклу проекту логістичної системи представлені в роботах А.В. Бондар, Є.В. Крикавського, Лукінського, Н.І. Піддубної, Н.В. Чернописької та ін. Нажаль, наукові дослідження

в даному напрямку не набули системного характеру та потребують подальших розробок.

Метою дослідження є розробка механізму формування часових параметрів життєвого циклу екологістичної системи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити специфічні особливості життєвого циклу екологістичної системи;
- дослідити зв'язки між фазами та етапами життєвого циклу екологістичної системи;
- створити графічну та математичну моделі життєвого циклу екологістичної системи.

Основний зміст дослідження. Кожен проект характеризується власною моделлю ЖЦ, яка формується взаємопов'язаними фазами. В [5] виділяють три основних типи взаємозв'язків між фазами проекту: послідовний зв'язок, зв'язок, що перекривається, та ітераційний зв'язок. В проектах, які складаються з багатьох фаз, на протязі життєвого циклу може існувати декілька зв'язків між фазами. Зв'язки, які використовуються в періоди між фазами, визначаються такими міркуваннями, як необхідний рівень контролю, ефективність і ступінь невизначеності.

В проектах ЕЛС фази ЖЦ можуть протікати як послідовно одна за одною (наприклад, інвестиційна фаза настає після завершення передінвестиційної фази), так і перекриватись (наприклад, регенеративна фаза починається до завершення експлуатаційної фази, коли продукт від кінцевого споживача поступає в зворотний потік матеріальних ресурсів, а ревіталізаційна фаза починається разом з інвестиційною та протікає майже до закінчення проекту).

Фази ЖЦ завершуються отриманням реальних проміжних результатів - продуктів, а також виконаною роботою, її якістю та управлінськими аспектами, які залежать від типів та характеристик результатів. На момент закінчення останньої фази життєвого циклу проекту повинні бути отримані всі результати [6].

ЖЦ проекту ЕЛС пропонується поділяти на наступні фази: передінвестиційну (pre-investment phase, P), інвестиційну (investment phase, I), експлуатаційну (operational phase, O), регенеративну (regenerative phase, R), ревіталізаційну (revitalization phase, V).

Фази ЖЦ проекту ЕЛС складають множину фаз проєктів C^f , ($f = \overline{1;F}$). Етапи (стадії) фаз ЖЦ проекту складають множину $S^{\bar{j}}$, f ($f = \overline{1;F}$) – фаза проєкту, j ($j = \overline{1;J}$) – етап фази.

Етапам фаз ЖЦ проекту ЕЛС відповідають часові інтервали $[t_i; t_{i+1}]$ ($i = \overline{1;I-1}$), де t_i – початок, t_{i+1} – закінчення часового інтервалу тривалості етапу фази проєкту, які є віховими подіями. На протязі ЖЦ проекту ЕЛС пропонується виділяти наступні віхові події:

- t_0 – початок проєкту, передінвестиційної фази;
- t_1 – початок інвестиційної та ревіталізаційної фаз, закінчення передінвестиційної фази;
- t_2 – початок експлуатаційної фази, закінчення інвестиційної фази;
- t_3 – початок регенеративної фази;
- t_4 – закінчення експлуатаційної фази;

t_5 – закінчення регенеративної фази;

t_6 – закінчення проєкту, ревіталізаційної фази.

Таким чином, ЖЦ ЕЛС включає множину TI^i , ($i = \overline{1;I-1}$) часових інтервалів $[t_i; t_{i+1}]$ – періодів часу, початком та завершенням яких є віхові події, яким відповідають початок або завершення фази (етапу) проєкту, що характеризуються отриманням певного результату.

До ЖЦ проєкту ЕЛС входять фази, які відрізняються кількістю етапів в їх складі:

перша, передінвестиційна фаза – $P^{11}_{[0;t_1]}$,

друга, інвестиційна фаза – $I^{21}_{[t_1;t_2]}$,

третя, експлуатаційна фаза – $O^{31}_{[t_2;t_3]}$, $O^{32}_{[t_3;t_4]}$,

четверта, регенеративна фаза – $R^{41}_{[t_3;t_4]}$, $R^{42}_{[t_4;t_5]}$,

п'ята, ревіталізаційна фаза – $V^{51}_{[t_1;t_2]}$, $V^{52}_{[t_2;t_3]}$, $V^{53}_{[t_3;t_4]}$,

$V^{54}_{[t_4;t_5]}$, $V^{55}_{[t_5;t_6]}$ (рис. 1).

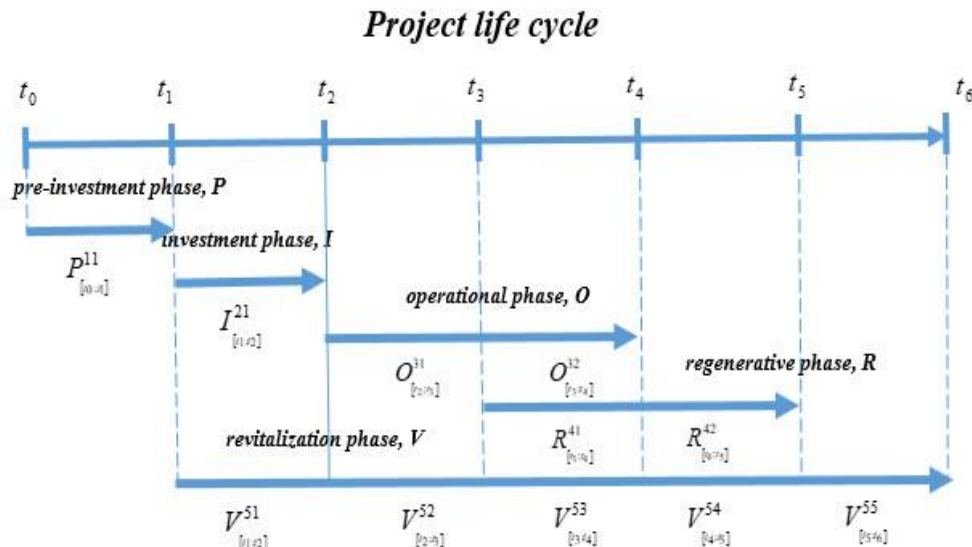


Рис.1. Життєвий цикл проєкту екологістичної системи

Отже, в ЖЦ проєкту формуються наступні множини:

- множина фаз ЖЦ проєкту $C^f = \{P; I; O; R; V\}$;
- множина часових інтервалів ЖЦ проєкту $TI^i = \{[t_0; t_1]; [t_1; t_2]; [t_2; t_3]; [t_3; t_4]; [t_4; t_5]; [t_5; t_6]\}$;

- множина етапів фаз ЖЦ проєкту

$$S^{\bar{j}} = \left\{ P^{11}_{[0;t_1]}; I^{21}_{[t_1;t_2]}; O^{31}_{[t_2;t_3]}; O^{32}_{[t_3;t_4]}; R^{41}_{[t_3;t_4]}; R^{42}_{[t_4;t_5]}; V^{51}_{[t_1;t_2]}; V^{52}_{[t_2;t_3]}; V^{53}_{[t_3;t_4]}; V^{54}_{[t_4;t_5]}; V^{55}_{[t_5;t_6]} \right\};$$

Для успішної реалізації проєкту необхідно визначити зв'язки між фазами та окремими етапами ЖЦ проєкту ЕЛС, що дозволяє зробити інструментарій теорії категорій, яка вивчає властивості відношень між об'єктами, не залежно від внутрішнього змісту та структури об'єктів [12].

ЖЦ проєкту екологістичної системи можна представити у вигляді категорії «ЖЦ проєкту ЕЛС». Для опису даної категорії необхідно визначитись з відповідними поняттями, представленими в таблиці 3.

Таблиця 3 – Склад категорій «ЖЦ проєкту ЕЛС»

Категорія	Набір об'єктів	Набір морфізмів
ЖЦ проєкту ЕЛС (project life cycle)	Етапи ЖЦ проєкту ЕЛС (project life cycle stages)	Зв'язки між етапами ЖЦ проєкту ЕЛС (links between project life cycle stage)

Категорія «ЖЦ проекту ЕЛС» включає:

набір об'єктів $S^{fj}_{[i;i+1]}$ – етапів ЖЦ проекту ЕЛС:

- $P^{11}_{[0;i]}$ – передінвестиційна фаза проекту (на якій створюється документально оформлений проект);
- $I^{21}_{[i;i+1]}$ – інвестиційна фаза (на якій створюється ЕЛС),
- $V^{51}_{[i;i+1]}$ – етап ревіталізаційної фази (на якому здійснюється ревіталізація наслідків створення ЕЛС);
- $O^{31}_{[i+1;i+2]}$ – етап експлуатаційної фази (на якому здійснюється рух прямого матеріального потоку);
- $V^{52}_{[i+2;i+3]}$ – етап ревіталізаційної фази (на якій здійснюється ревіталізація наслідків руху прямого матеріального потоку);
- $O^{32}_{[i+3;i+4]}$ – етап експлуатаційної фази (на якому здійснюється рух прямого матеріального потоку);
- $R^{41}_{[i+3;i+4]}$ – етап регенеративної фази (на якому здійснюється рух зворотного матеріального потоку);
- $V^{53}_{[i+3;i+4]}$ – етап ревіталізаційної фази (на якій здійснюється ревіталізація наслідків впливу руху прямого та зворотного матеріальних потоків);
- $R^{42}_{[i+4;i+5]}$ – етап регенеративної фази (на якому здійснюється рух зворотного матеріального потоку);
- $V^{54}_{[i+4;i+5]}$ – етап ревіталізаційної фази (на якій здійснюється ревіталізація наслідків впливу руху зворотного матеріального потоку);
- $V^{55}_{[i+5;i+6]}$ – етап ревіталізаційної фази (на якій здійснюється ревіталізація наслідків впливу проекту ЕЛС).

набір послідовних морфізмів – зв'язків між етапами ЖЦ проекту ЕЛС:

- передінвестиційною $P^{11}_{[0;i]}$ та інвестиційною $I^{21}_{[i;i+1]}$ фазами: $l_1: P^{11}_{[0;i]} \rightarrow I^{21}_{[i;i+1]}$, $l_1 \in Hom_{LC}(P^{11}_{[0;i]}, I^{21}_{[i;i+1]})$;
- інвестиційною $I^{21}_{[i;i+1]}$ фазою та етапом $O^{31}_{[i+1;i+2]}$ експлуатаційної фазами: $l_2: I^{21}_{[i;i+1]} \rightarrow O^{31}_{[i+1;i+2]}$, $l_2 \in Hom_{LC}(I^{21}_{[i;i+1]}, O^{31}_{[i+1;i+2]})$;
- етапами $O^{31}_{[i+1;i+2]}$ та $O^{32}_{[i+2;i+3]}$ експлуатаційної фази: $l_3: O^{31}_{[i+1;i+2]} \rightarrow O^{32}_{[i+2;i+3]}$, $l_3 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[i+1;i+2]}, O^{32}_{[i+2;i+3]})$;
- етапом $O^{31}_{[i+1;i+2]}$ експлуатаційної фази та етапом $R^{41}_{[i+3;i+4]}$ регенеративної фази: $l_4: O^{31}_{[i+1;i+2]} \rightarrow R^{41}_{[i+3;i+4]}$, $l_4 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[i+1;i+2]}, R^{41}_{[i+3;i+4]})$;

- етапами $R^{41}_{[i+3;i+4]}$ та $R^{42}_{[i+4;i+5]}$ регенеративної фази:

$$l_5: R^{41}_{[i+3;i+4]} \rightarrow R^{42}_{[i+4;i+5]}, l_5 \in Hom_{LC}(R^{41}_{[i+3;i+4]}, R^{42}_{[i+4;i+5]});$$

- етапом $O^{32}_{[i+2;i+3]}$ експлуатаційної фази та етапом $R^{42}_{[i+4;i+5]}$ регенеративної фази: $l_6: O^{32}_{[i+2;i+3]} \rightarrow R^{42}_{[i+4;i+5]}$,

$$l_6 \in Hom_{LC}(O^{32}_{[i+2;i+3]}, R^{42}_{[i+4;i+5]});$$

- передінвестиційною фазою $P^{11}_{[0;i]}$ та етапом $V^{51}_{[i;i+1]}$ ревіталізаційної фази: $l_7: P^{11}_{[0;i]} \rightarrow V^{51}_{[i;i+1]}$,

$$l_7 \in Hom_{LC}(P^{11}_{[0;i]}, V^{51}_{[i;i+1]});$$

- інвестиційною фазою $I^{21}_{[i;i+1]}$ та етапом $V^{52}_{[i+2;i+3]}$ ревіталізаційної фази: $l_8: I^{21}_{[i;i+1]} \rightarrow V^{52}_{[i+2;i+3]}$,

$$l_8 \in Hom_{LC}(I^{21}_{[i;i+1]}, V^{52}_{[i+2;i+3]});$$

- етапом $O^{31}_{[i+1;i+2]}$ експлуатаційної фази та етапом $V^{53}_{[i+3;i+4]}$ ревіталізаційної фази: $l_9: O^{31}_{[i+1;i+2]} \rightarrow V^{53}_{[i+3;i+4]}$,

$$l_9 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[i+1;i+2]}, V^{53}_{[i+3;i+4]});$$

- етапом $O^{32}_{[i+2;i+3]}$ експлуатаційної фази та етапом $V^{54}_{[i+4;i+5]}$ ревіталізаційної фази: $l_{10}: O^{32}_{[i+2;i+3]} \rightarrow V^{54}_{[i+4;i+5]}$,

$$l_{10} \in Hom_{LC}(O^{32}_{[i+2;i+3]}, V^{54}_{[i+4;i+5]});$$

- етапом $R^{41}_{[i+3;i+4]}$ регенеративної фази та етапом $V^{54}_{[i+4;i+5]}$ ревіталізаційної фази: $l_{11}: R^{41}_{[i+3;i+4]} \rightarrow V^{54}_{[i+4;i+5]}$,

$$l_{11} \in Hom_{LC}(R^{41}_{[i+3;i+4]}, V^{54}_{[i+4;i+5]});$$

- етапом $R^{42}_{[i+4;i+5]}$ регенеративної фази та етапом $V^{55}_{[i+5;i+6]}$ ревіталізаційної фази: $l_{12}: R^{42}_{[i+4;i+5]} \rightarrow V^{55}_{[i+5;i+6]}$,

$$l_{12} \in Hom_{LC}(R^{42}_{[i+4;i+5]}, V^{55}_{[i+5;i+6]});$$

- етапом $V^{51}_{[i;i+1]}$ та етапом $V^{52}_{[i+2;i+3]}$ ревіталізаційної фази: $l_{13}: V^{51}_{[i;i+1]} \rightarrow V^{52}_{[i+2;i+3]}$, $l_{13} \in Hom_{LC}(V^{51}_{[i;i+1]}, V^{52}_{[i+2;i+3]})$;

$$l_{13} \in Hom_{LC}(V^{51}_{[i;i+1]}, V^{52}_{[i+2;i+3]});$$

- етапом $V^{52}_{[i+2;i+3]}$ та етапом $V^{53}_{[i+3;i+4]}$ ревіталізаційної фази: $l_{14}: V^{52}_{[i+2;i+3]} \rightarrow V^{53}_{[i+3;i+4]}$, $l_{14} \in Hom_{LC}(V^{52}_{[i+2;i+3]}, V^{53}_{[i+3;i+4]})$;

$$l_{14} \in Hom_{LC}(V^{52}_{[i+2;i+3]}, V^{53}_{[i+3;i+4]});$$

- етапом $V^{53}_{[i+3;i+4]}$ та етапом $V^{54}_{[i+4;i+5]}$ ревіталізаційної фази: $l_{15}: V^{53}_{[i+3;i+4]} \rightarrow V^{54}_{[i+4;i+5]}$, $l_{15} \in Hom_{LC}(V^{53}_{[i+3;i+4]}, V^{54}_{[i+4;i+5]})$;

$$l_{15} \in Hom_{LC}(V^{53}_{[i+3;i+4]}, V^{54}_{[i+4;i+5]});$$

- етапом $V^{54}_{[i+4;i+5]}$ та етапом $V^{55}_{[i+5;i+6]}$ ревіталізаційної фази: $l_{16}: V^{54}_{[i+4;i+5]} \rightarrow V^{55}_{[i+5;i+6]}$, $l_{16} \in Hom_{LC}(V^{54}_{[i+4;i+5]}, V^{55}_{[i+5;i+6]})$

$$l_{16} \in Hom_{LC}(V^{54}_{[i+4;i+5]}, V^{55}_{[i+5;i+6]});$$

(рис. 2).

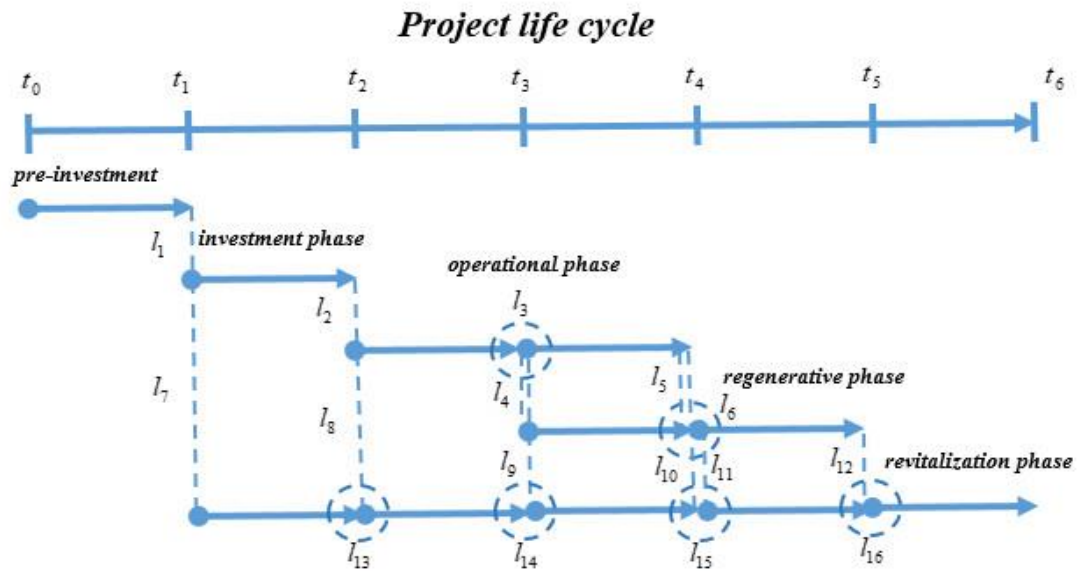


Рис. 2. Послідовні морфізми категорії «ЖЦ проекту ЕЛС»

набір паралельних морфізмів – зв'язків між етапами ЖЦ проекту ЕЛС:

- інвестиційною $I_{[t_1:t_2]}^{21}$ фазою та етапом $V_{[t_1:t_2]}^{51}$ ревіталізаційної фази: $h_1 : I_{[t_1:t_2]}^{21} \rightarrow V_{[t_1:t_2]}^{51}$,

$$h_1 \in \text{Hom}_{LC}(I_{[t_1:t_2]}^{21}, V_{[t_1:t_2]}^{51});$$

- етапом $O_{[t_2:t_3]}^{31}$ експлуатаційної фази та етапом $V_{[t_2:t_3]}^{52}$ ревіталізаційної фази: $h_2 : O_{[t_2:t_3]}^{31} \rightarrow V_{[t_2:t_3]}^{52}$,

$$h_2 \in \text{Hom}_{LC}(O_{[t_2:t_3]}^{31}, V_{[t_2:t_3]}^{52});$$

- етапом $O_{[t_3:t_4]}^{32}$ експлуатаційної фази та етапом $R_{[t_3:t_4]}^{41}$ регенеративної фази: $h_3 : O_{[t_3:t_4]}^{32} \rightarrow R_{[t_3:t_4]}^{41}$,

$$h_3 \in \text{Hom}_{LC}(O_{[t_3:t_4]}^{32}, R_{[t_3:t_4]}^{41});$$

- етапом $O_{[t_3:t_4]}^{32}$ експлуатаційної фази та етапом $V_{[t_3:t_4]}^{53}$ ревіталізаційної фази: $h_4 : O_{[t_3:t_4]}^{32} \rightarrow V_{[t_3:t_4]}^{53}$,

$$h_4 \in \text{Hom}_{LC}(O_{[t_3:t_4]}^{32}, V_{[t_3:t_4]}^{53});$$

- етапом $R_{[t_3:t_4]}^{41}$ регенеративної фази та етапом $V_{[t_3:t_4]}^{53}$ ревіталізаційної фази: $h_5 : R_{[t_3:t_4]}^{41} \rightarrow V_{[t_3:t_4]}^{53}$,

$$h_5 \in \text{Hom}_{LC}(R_{[t_3:t_4]}^{41}, V_{[t_3:t_4]}^{53});$$

- етапом $R_{[t_4:t_5]}^{42}$ регенеративної фази та етапом $V_{[t_4:t_5]}^{54}$ ревіталізаційної фази: $h_6 : R_{[t_4:t_5]}^{42} \rightarrow V_{[t_4:t_5]}^{54}$,

$$h_6 \in \text{Hom}_{LC}(R_{[t_4:t_5]}^{42}, V_{[t_4:t_5]}^{54}) \text{ (рис. 3).}$$

Графічно категорію «ЖЦ проекту ЕЛС» можна представити наступним чином (рис. 4).

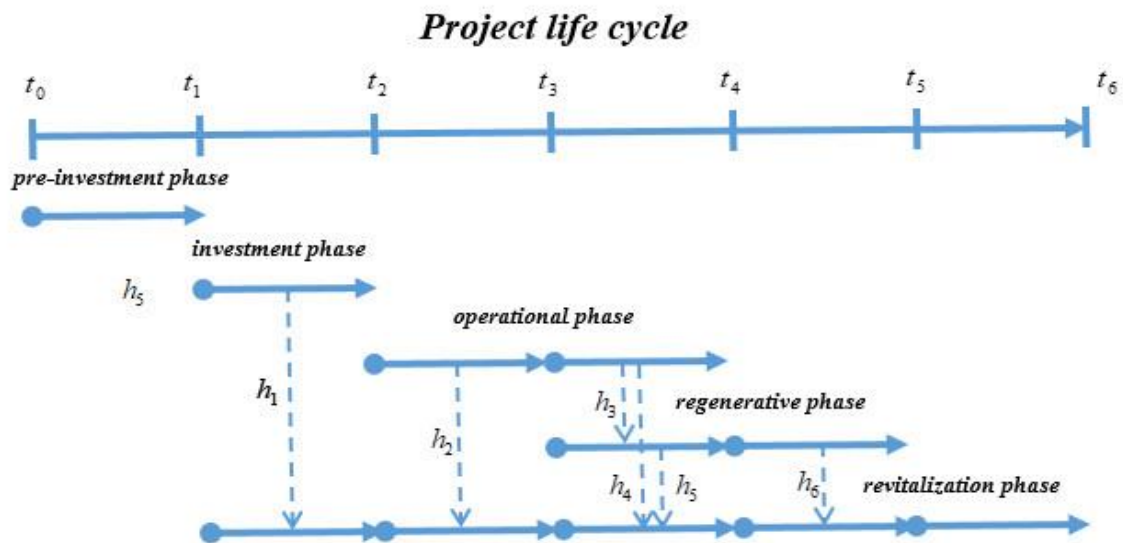


Рис. 3. Паралельні морфізми категорії «ЖЦ проекту ЕЛС»

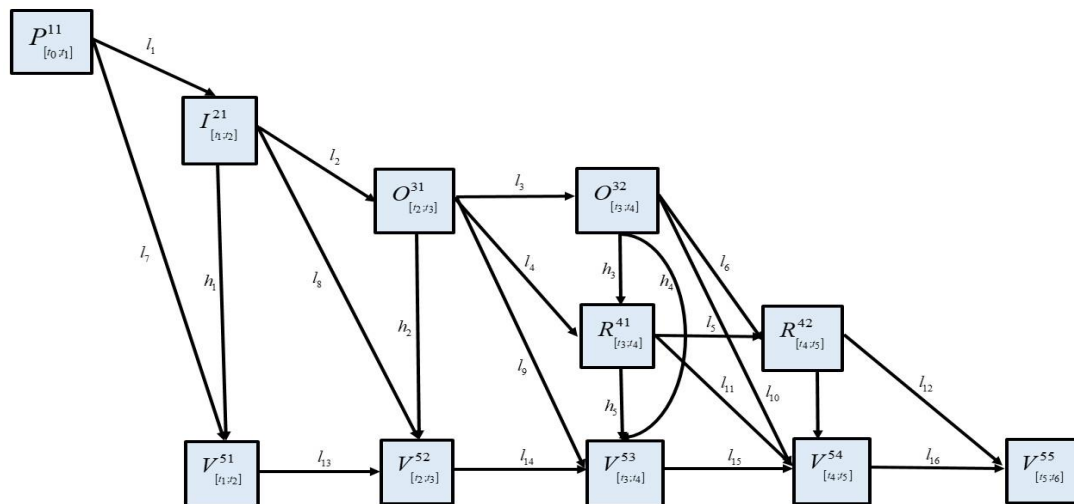


Рис. 4. Категорія «ЖЦ проекту ЕЛС»

Об'єкти категорії – етапи ЖЦ проекту ЕЛС мають зв'язки з попередніми (доменами) та наступними (кодоменами) етапами – об'єктами, які

виражені вхідними та вихідними морфізмами (табл. 4).

Таблиця 4 – Зв'язки між етапами ЖЦ проекту ЕЛС

Об'єкт	Вхідні морфізми	Вихідні морфізми
$P^{11}_{[0;1]}$	-	$l_1 \in Hom_{LC}(P^{11}_{[0;1]}, I^{21}_{[1;2]})$ $l_7 \in Hom_{LC}(P^{11}_{[0;1]}, V^{51}_{[1;2]})$
$I^{21}_{[1;2]}$	$l_1 \in Hom_{LC}(P^{11}_{[0;1]}, I^{21}_{[1;2]})$	$l_2 \in Hom_{LC}(I^{21}_{[1;2]}, O^{31}_{[2;3]})$ $l_8 \in Hom_{LC}(I^{21}_{[1;2]}, V^{52}_{[2;3]})$ $h_1 \in Hom_{LC}(I^{21}_{[1;2]}, V^{51}_{[1;2]})$
$O^{31}_{[2;3]}$	$l_2 \in Hom_{LC}(I^{21}_{[1;2]}, O^{31}_{[2;3]})$	$l_3 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[2;3]}, O^{32}_{[3;4]})$ $l_4 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[2;3]}, R^{41}_{[3;4]})$ $l_9 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[2;3]}, V^{53}_{[3;4]})$ $h_2 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[2;3]}, V^{52}_{[2;3]})$
$O^{32}_{[3;4]}$	$l_3 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[2;3]}, O^{32}_{[3;4]})$	$l_6 \in Hom_{LC}(O^{32}_{[3;4]}, R^{42}_{[4;5]})$ $l_{10} \in Hom_{LC}(O^{32}_{[3;4]}, V^{54}_{[4;5]})$ $h_3 \in Hom_{LC}(O^{32}_{[3;4]}, R^{41}_{[3;4]})$ $h_4 \in Hom_{LC}(O^{32}_{[3;4]}, V^{53}_{[3;4]})$
$R^{41}_{[3;4]}$	$l_4 \in Hom_{LC}(O^{31}_{[2;3]}, R^{41}_{[3;4]})$ $h_3 \in Hom_{LC}(O^{32}_{[3;4]}, R^{41}_{[3;4]})$	$l_5 \in Hom_{LC}(R^{41}_{[3;4]}, R^{42}_{[4;5]})$ $l_{11} \in Hom_{LC}(R^{41}_{[3;4]}, V^{54}_{[4;5]})$ $h_5 \in Hom_{LC}(R^{41}_{[3;4]}, V^{53}_{[3;4]})$
$R^{42}_{[4;5]}$	$l_5 \in Hom_{LC}(R^{41}_{[3;4]}, R^{42}_{[4;5]})$ $l_6 \in Hom_{LC}(O^{32}_{[3;4]}, R^{42}_{[4;5]})$	$l_{12} \in Hom_{LC}(R^{42}_{[4;5]}, V^{55}_{[5;6]})$ $h_5 \in Hom_{LC}(R^{41}_{[3;4]}, V^{53}_{[3;4]})$ $h_6 \in Hom_{LC}(R^{42}_{[4;5]}, V^{54}_{[4;5]})$

Кінець таблиці 4

$V_{[t_1:t_2]}^{51}$	$l_7 \in Hom_{LC}\left(P_{[t_0:t_1]}^{11}, V_{[t_1:t_2]}^{51}\right)$ $h_1 \in Hom_{LC}\left(I_{[t_1:t_2]}^{21}, V_{[t_1:t_2]}^{51}\right)$	$l_{13} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_1:t_2]}^{51}, V_{[t_2:t_3]}^{52}\right)$
$V_{[t_2:t_3]}^{52}$	$l_8 \in Hom_{LC}\left(I_{[t_1:t_2]}^{21}, V_{[t_2:t_3]}^{52}\right)$ $l_{13} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_1:t_2]}^{51}, V_{[t_2:t_3]}^{52}\right)$	$l_{14} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_2:t_3]}^{52}, V_{[t_3:t_4]}^{53}\right)$
$V_{[t_3:t_4]}^{53}$	$l_9 \in Hom_{LC}\left(O_{[t_2:t_3]}^{31}, V_{[t_3:t_4]}^{53}\right)$ $l_{14} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_2:t_3]}^{52}, V_{[t_3:t_4]}^{53}\right)$ $h_2 \in Hom_{LC}\left(O_{[t_2:t_3]}^{31}, V_{[t_2:t_3]}^{52}\right)$ $h_4 \in Hom_{LC}\left(O_{[t_3:t_4]}^{32}, V_{[t_3:t_4]}^{53}\right)$	$l_{15} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_3:t_4]}^{53}, V_{[t_4:t_5]}^{54}\right)$
$V_{[t_4:t_5]}^{54}$	$l_{10} \in Hom_{LC}\left(O_{[t_3:t_4]}^{32}, V_{[t_4:t_5]}^{54}\right)$ $l_{11} \in Hom_{LC}\left(R_{[t_3:t_4]}^{41}, V_{[t_4:t_5]}^{54}\right)$ $l_{15} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_3:t_4]}^{53}, V_{[t_4:t_5]}^{54}\right)$	$l_{16} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_4:t_5]}^{54}, V_{[t_5:t_6]}^{55}\right)$
$V_{[t_5:t_6]}^{55}$	$l_{12} \in Hom_{LC}\left(R_{[t_4:t_5]}^{42}, V_{[t_5:t_6]}^{55}\right)$ $l_{16} \in Hom_{LC}\left(V_{[t_4:t_5]}^{54}, V_{[t_5:t_6]}^{55}\right)$ $h_5 \in Hom_{LC}\left(R_{[t_3:t_4]}^{41}, V_{[t_3:t_4]}^{53}\right)$ $h_6 \in Hom_{LC}\left(R_{[t_4:t_5]}^{42}, V_{[t_4:t_5]}^{54}\right)$	

Визначення морфізмів між об'єктами категорії «ЖЦ проекту ЕЛС» дозволяє визначити етапи проекту, зміна строків закінчення яких впливає на строки початку наступних етапів або фаз. Оскільки ЖЦ проекту має комбіновану структуру та складається з фаз, що мають зв'язки, які є послідовними та такими, що перекриваються, тривалість всього ЖЦ неможливо визначити як суму тривалостей окремих фаз або етапів. В розрахунках необхідно враховувати тривалість часових інтервалів, на протязі яких реалізуються певні етапи проекту

$$T_{LC} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i:t_{i+1}]}, \quad (1)$$

де $\theta_{[t_i:t_{i+1}]}$ – тривалість часового інтервалу $[t_i:t_{i+1}]$.

Відповідно до графічної моделі ЖЦ проекту ЕЛС, часовому інтервалу $[t_i:t_{i+1}]$ відповідають етапи різних фаз ЖЦ. Тривалість $\tau_{[t_i:t_{i+1}]}^{fj}$ етапу j фази f проекту розраховується за формулою:

$$\tau_{[t_i:t_{i+1}]}^{fj} = t_{i+1}^{fj} - t_i^{fj}, \quad (2)$$

де t_i^{fj} та t_{i+1}^{fj} – моменти початку та закінчення етапу $j, (j = \overline{1; J})$ фази $f, (i = \overline{1; F})$ відповідно.

Тривалість етапів або фаз ЖЦ проекту не є величиною постійною, вона може змінюватись під

впливом внутрішніх та зовнішніх факторів. Зміна тривалості етапу проекту вплине на термін початку етапів, що пов'язані з даним етапом визначеними в табл. 4 морфізмами (послідовними та паралельними). Наприклад, зміна тривалості $\tau_{[t_2:t_3]}^{31}$ етапу-домену

$O_{[t_2:t_3]}^{31}$ вплине на тривалість $\tau_{[t_3:t_4]}^{32}$, $\tau_{[t_3:t_4]}^{41}$, $\tau_{[t_3:t_4]}^{53}$, $\tau_{[t_2:t_3]}^{52}$ етапів-кодоменив, що виконуються послідовно після даного етапу – $O_{[t_3:t_4]}^{32}$, $R_{[t_3:t_4]}^{41}$, $V_{[t_3:t_4]}^{53}$ та етапу-

домену $V_{[t_2:t_3]}^{52}$, який здійснюється одночасно з даним етапом. Такі зміни відповідають морфізмам $l_3 \in Hom_{LC}\left(O_{[t_2:t_3]}^{31}, O_{[t_3:t_4]}^{32}\right)$, $l_4 \in Hom_{LC}\left(O_{[t_2:t_3]}^{31}, R_{[t_3:t_4]}^{41}\right)$, $l_9 \in Hom_{LC}\left(O_{[t_2:t_3]}^{31}, V_{[t_3:t_4]}^{53}\right)$ $h_2 \in Hom_{LC}\left(O_{[t_2:t_3]}^{31}, V_{[t_2:t_3]}^{52}\right)$.

Крім того, тривалість етапу-кодомени може змінюватись самостійно, незалежно від тривалості пов'язаних з ним морфізмами етапів-доменів, у відповідності з зовнішніми та внутрішніми умовами проекту.

Зміна тривалості $\tau_{[t_i:t_{i+1}]}^{fj}$ етапу j фази f ЖЦ визначається різницею між запланованим та фактичним значеннями тривалості етапу

$$\Delta \tau_{[t_i:t_{i+1}]}^{fj} = \tau_{[t_i:t_{i+1}]}^{fj-fact} - \tau_{[t_i:t_{i+1}]}^{fj-plan}, \quad (3)$$

де $\tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj-fact}$ та $\tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj-plan}$ – фактична та планова тривалості етапу $j, (j = \overline{1; J})$ фази $f, (i = \overline{1; F})$ ЖЦ відповідно.

Залежності між часовими характеристиками етапів ЖЦ проекту ЕЛС представлені в табл. 5.

Таблиця 5 – Часові характеристики етапів ЖЦ проекту

Етап ЖЦ проекту	Планова тривалість етапу	Зміна тривалості етапу	Фактична тривалість етапу
$P_{[t_0; t_1]}^{11}$	$\tau_{[t_0; t_1]}^{11-plan}$	$\Delta \tau_{[t_0; t_1]}^{11}$	$\tau_{[t_0; t_1]}^{11-fact} = \tau_{[t_0; t_1]}^{11-plan} + \Delta \tau_{[t_0; t_1]}^{11}$
$I_{[t_1; t_2]}^{21}$	$\tau_{[t_1; t_2]}^{21-plan}$	$\Delta \tau_{[t_1; t_2]}^{21}$	$\tau_{[t_1; t_2]}^{21-fact} = \tau_{[t_1; t_2]}^{21-plan} + \Delta \tau_{[t_1; t_2]}^{21}$
$O_{[t_2; t_3]}^{31}$	$\tau_{[t_2; t_3]}^{31-plan}$	$\Delta \tau_{[t_2; t_3]}^{31}$	$\tau_{[t_2; t_3]}^{31-fact} = \tau_{[t_2; t_3]}^{31-plan} + \Delta \tau_{[t_2; t_3]}^{31}$
$O_{[t_3; t_4]}^{32}$	$\tau_{[t_3; t_4]}^{32-plan}$	$\Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{32}$	$\tau_{[t_3; t_4]}^{32-fact} = \tau_{[t_3; t_4]}^{32-plan} + \Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{32}$
$R_{[t_3; t_4]}^{41}$	$\tau_{[t_3; t_4]}^{41-plan}$	$\Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{41}$	$\tau_{[t_3; t_4]}^{41-fact} = \tau_{[t_3; t_4]}^{41-plan} + \Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{41}$
$R_{[t_4; t_5]}^{42}$	$\tau_{[t_4; t_5]}^{42-plan}$	$\Delta \tau_{[t_4; t_5]}^{42}$	$\tau_{[t_4; t_5]}^{42-fact} = \tau_{[t_4; t_5]}^{42-plan} + \Delta \tau_{[t_4; t_5]}^{42}$
$V_{[t_1; t_2]}^{51}$	$\tau_{[t_1; t_2]}^{51-plan}$	$\Delta \tau_{[t_1; t_2]}^{51}$	$\tau_{[t_1; t_2]}^{51-fact} = \tau_{[t_1; t_2]}^{51-plan} + \Delta \tau_{[t_1; t_2]}^{51}$
$V_{[t_2; t_3]}^{52}$	$\tau_{[t_2; t_3]}^{52-plan}$	$\Delta \tau_{[t_2; t_3]}^{52}$	$\tau_{[t_2; t_3]}^{52-fact} = \tau_{[t_2; t_3]}^{52-plan} + \Delta \tau_{[t_2; t_3]}^{52}$
$V_{[t_3; t_4]}^{53}$	$\tau_{[t_3; t_4]}^{32-plan}$	$\Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{53}$	$\tau_{[t_3; t_4]}^{32-fact} = \tau_{[t_3; t_4]}^{32-plan} + \Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{32}$
$V_{[t_4; t_5]}^{54}$	$\tau_{[t_4; t_5]}^{54-plan}$	$\Delta \tau_{[t_4; t_5]}^{54}$	$\tau_{[t_4; t_5]}^{54-fact} = \tau_{[t_4; t_5]}^{54-plan} + \Delta \tau_{[t_4; t_5]}^{54}$
$V_{[t_5; t_6]}^{55}$	$\tau_{[t_5; t_6]}^{55-plan}$	$\Delta \tau_{[t_5; t_6]}^{55}$	$\tau_{[t_5; t_6]}^{55-fact} = \tau_{[t_5; t_6]}^{55-plan} + \Delta \tau_{[t_5; t_6]}^{55}$

Існують наступні варіанти визначення зміни тривалості етапу ЖЦ проекту:

$\Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} > 0$ – тривалість етапу збільшилась,

$\Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} < 0$ – тривалість етапу зменшилась,

$\Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} = 0$ – тривалість етапу не змінилась.

Тривалість етапів $\tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj}$ впливає на тривалість відповідних інтервалів $\theta_{[t_i; t_{i+1}]}$, а тривалість інтервалів $\theta_{[t_i; t_{i+1}]}$ впливає на загальну тривалість ЖЦ проекту як запланованого T_{LC}^{plan} на передінвестиційній фазі при розробці проекту, так і фактичного T_{LC}^{fact} , який визначиться в процесі реалізації проекту

$$T_{LC}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{fact}, \quad (4)$$

$$T_{LC}^{plan} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{plan}. \quad (5)$$

Зміни в тривалості ЖЦ проекту ЕЛС визначаються формулою:

$$\Delta T_{LC} = T_{LC}^{fact} - T_{LC}^{plan}. \quad (6)$$

Управління ЖЦ проекту полягає у зменшенні різниці між запланованим та фактичним значеннями тривалості ЖЦ

$$\Delta T_{LC} = (T_{LC}^{fact} - T_{LC}^{plan}) \rightarrow \min. \quad (7)$$

Можливі варіанти дотримання строків завершення проекту ЕЛС:

Тривалість ЖЦ T_{LC}^{plan} є визначеною, проект повинен бути завершений у строго визначений термін. В цьому разі у випадку зміни тривалості попередньої фази, повинна змінюватись тривалість наступної фази або наступних фаз для збереження загальної тривалості ЖЦ проекту.

Тривалість ЖЦ проекту може змінюватись, Термін закінчення проекту не є строго визначеним.

Тоді зміни у тривалості окремих фаз позначаються на фактичній загальній тривалості ЖЦ проекту T_{LC}^{fact} .

Таблиця 6 – Варіанти тривалості ЖЦ проекту ЕЛС

Часова характеристика проекту	Стан характеристик	
	Варіант 1	Варіант 2
Плановий термін завершення проекту, T_{LC}^{plan}	$T_{LC}^{plan} = const$	$T_{LC}^{plan} \neq const$
Фактичний термін завершення проекту, T_{LC}^{fact}	$T_{LC}^{fact} = T_{LC}^{plan}$	$T_{LC}^{fact} \neq T_{LC}^{plan}$

Варіант 1. Тривалість ЖЦ проекту ЕЛС строго визначена

При зміні тривалості етапу $\tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fi}$ просаекту,

для дотримання умови $T_{LC}^{fact} = T_{LC}^{plan}$, необхідно стабілізувати тривалість ЖЦ проекту за рахунок коригування тривалості етапів, пов'язаних морфізмами з визначеним етапом, таким чином, щоб загальна сума змін часових інтервалів, з яких складається тривалість ЖЦ, дорівнювала нулю, а фактична тривалість ЖЦ відповідала запланованому значенню.

$$\sum_{i=0}^{I-1} \Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]} = 0, \quad (8)$$

$$T_{LC}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{plan}. \quad (9)$$

Для вирішення поставленого завдання необхідно коригувати тривалість етапів, що є кодомонами в послідовних та паралельних морфізмах (табл. 7).

Таблиця 7 – Коригування тривалості етапів ЖЦ проекту ЕЛС

Часовий інтервал	Об'єкт - домен	Зміна тривалості етапу об'єкту-домени	Вихідні морфізми	Компенсаційні зміни тривалості етапу об'єкту-кодому
$[t_0; t_1]$	$P_{[t_0; t_1]}^{11}$	$\Delta \tau_{[t_0; t_1]}^{11}$	$l_1 \in Hom_{LC} \left(P_{[t_0; t_1]}^{11}, I_{[t_1; t_2]}^{21} \right)$ $l_7 \in Hom_{LC} \left(P_{[t_0; t_1]}^{11}, V_{[t_1; t_2]}^{51} \right)$	$\Delta c_{[t_1; t_2]}^{21}$ $\Delta c_{[t_1; t_2]}^{51}$
$[t_1; t_2]$	$I_{[t_1; t_2]}^{21}$	$\Delta \tau_{[t_1; t_2]}^{21}$	$l_2 \in Hom_{LC} \left(I_{[t_1; t_2]}^{21}, O_{[t_2; t_3]}^{31} \right)$ $l_8 \in Hom_{LC} \left(I_{[t_1; t_2]}^{21}, V_{[t_2; t_3]}^{52} \right)$ $h_1 \in Hom_{LC} \left(I_{[t_1; t_2]}^{21}, V_{[t_1; t_2]}^{51} \right)$	$\Delta c_{[t_2; t_3]}^{31}$ $\Delta c_{[t_2; t_3]}^{52}$ $\Delta c_{[t_1; t_2]}^{51}$
	$V_{[t_1; t_2]}^{51}$	$\Delta \tau_{[t_1; t_2]}^{51}$	$l_{13} \in Hom_{LC} \left(V_{[t_1; t_2]}^{51}, V_{[t_2; t_3]}^{52} \right)$	$\Delta c_{[t_2; t_3]}^{52}$
$[t_2; t_3]$	$O_{[t_2; t_3]}^{31}$	$\Delta \tau_{[t_2; t_3]}^{31}$	$l_3 \in Hom_{LC} \left(O_{[t_2; t_3]}^{31}, O_{[t_3; t_4]}^{32} \right)$ $l_4 \in Hom_{LC} \left(O_{[t_2; t_3]}^{31}, R_{[t_3; t_4]}^{41} \right)$ $l_9 \in Hom_{LC} \left(O_{[t_2; t_3]}^{31}, V_{[t_3; t_4]}^{53} \right)$ $h_2 \in Hom_{LC} \left(O_{[t_2; t_3]}^{31}, V_{[t_2; t_3]}^{52} \right)$	$\Delta c_{[t_3; t_4]}^{32}$ $\Delta c_{[t_3; t_4]}^{41}$ $\Delta c_{[t_3; t_4]}^{53}$ $\Delta c_{[t_2; t_3]}^{52}$
	$V_{[t_2; t_3]}^{52}$	$\Delta \tau_{[t_2; t_3]}^{52}$	$l_{14} \in Hom_{LC} \left(V_{[t_2; t_3]}^{52}, V_{[t_3; t_4]}^{53} \right)$	$\Delta c_{[t_3; t_4]}^{53}$
$[t_3; t_4]$	$O_{[t_3; t_4]}^{32}$	$\Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{32}$	$l_6 \in Hom_{LC} \left(O_{[t_3; t_4]}^{32}, R_{[t_4; t_5]}^{42} \right)$ $l_{10} \in Hom_{LC} \left(O_{[t_3; t_4]}^{32}, V_{[t_4; t_5]}^{54} \right)$ $h_3 \in Hom_{LC} \left(O_{[t_3; t_4]}^{32}, R_{[t_3; t_4]}^{41} \right)$ $h_4 \in Hom_{LC} \left(O_{[t_3; t_4]}^{32}, V_{[t_3; t_4]}^{53} \right)$	$\Delta c_{[t_4; t_5]}^{42}$ $\Delta c_{[t_4; t_5]}^{54}$ $\Delta c_{[t_3; t_4]}^{41}$ $\Delta c_{[t_3; t_4]}^{53}$

Кінець таблиці 7

$[t_3; t_4]$	$R_{[t_3; t_4]}^{41}$	$\Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{41}$	$l_5 \in Hom_{LC} \left(R_{[t_3; t_4]}^{41}, R_{[t_4; t_5]}^{42} \right)$ $l_{11} \in Hom_{LC} \left(R_{[t_3; t_4]}^{41}, V_{[t_4; t_5]}^{54} \right)$ $h_5 \in Hom_{LC} \left(R_{[t_3; t_4]}, V_{[t_5; t_6]} \right)$	$\Delta c_{[t_4; t_5]}^{42}$ $\Delta c_{[t_4; t_5]}^{54}$ $\Delta c_{[t_5; t_6]}^{55}$
	$V_{[t_3; t_4]}^{53}$	$\Delta \tau_{[t_3; t_4]}^{53}$	$l_{15} \in Hom_{LC} \left(V_{[t_3; t_4]}^{53}, V_{[t_4; t_5]}^{54} \right)$	$\Delta c_{[t_4; t_5]}^{54}$
$[t_4; t_5]$	$R_{[t_4; t_5]}^{42}$	$\Delta \tau_{[t_4; t_5]}^{42}$	$l_{12} \in Hom_{LC} \left(R_{[t_4; t_5]}^{42}, V_{[t_5; t_6]}^{55} \right)$ $h_5 \in Hom_{LC} \left(R_{[t_3; t_4]}^{41}, V_{[t_3; t_4]}^{53} \right)$ $h_6 \in Hom_{LC} \left(R_{[t_4; t_5]}^{42}, V_{[t_4; t_5]}^{54} \right)$	$\Delta c_{[t_5; t_6]}^{55}$ $\Delta c_{[t_3; t_4]}^{53}$ $\Delta c_{[t_4; t_5]}^{54}$
	$V_{[t_4; t_5]}^{54}$	$\Delta \tau_{[t_4; t_5]}^{54}$	$l_{16} \in Hom_{LC} \left(V_{[t_4; t_5]}^{54}, V_{[t_5; t_6]}^{55} \right)$	$\Delta c_{[t_5; t_6]}^{55}$
$[t_5; t_6]$	$V_{[t_5; t_6]}^{55}$	$\Delta \tau_{[t_5; t_6]}^{55}$	-	-

Таким чином, компенсація $\Delta c_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj}$ дозволяє уникнути або мінімізувати зміни $\Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj}$, що виникли у тривалості попередніх етапів ЖЦ проекту, та корегувати загальну тривалість ЖЦ проекту.

Фактична тривалість $\theta_{[t_i; t_{i+1}]}$ часового інтервалу залежить від тривалості $\tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj}$ всіх етапів, що протікають на протязі часового інтервалу $[t_i; t_{i+1}]$, а визначається тривалістю домінуючого об'єкту в паралельних морфізмах. Наприклад, на протязі часового інтервалу $[t_3; t_4]$ здійснюються три етапи $O_{[t_3; t_4]}^{32}$, $R_{[t_3; t_4]}^{41}$, $V_{[t_3; t_4]}^{53}$ експлуатаційної, регенеративної та ревіталізаційної фаз відповідно, але визначальною є тривалість етапу експлуатаційної фази, як визначено відповідними морфізмами. Отже, зміна тривалості часового інтервалу має аналогічну залежність

$$\Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{fact} = dom \left\{ \Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} \right\}. \quad (10)$$

Якщо зміни тривалості етапів $\Delta c_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj}$, що відповідають певному часовому інтервалу $[t_i; t_{i+1}]$, не дорівнюють один одному, то коригуюча зміна тривалості часового інтервалу також відповідає коригуючій зміні домінуючого об'єкту в морфізмі, тобто етапу проекту

$$\Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{cor} = dom \left\{ \Delta c_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} \right\}. \quad (11)$$

Врахування цих змін дозволяє вплинути на фактичну тривалість ЖЦ проекту ЕЛС, яка розраховується за формулою

$$T_{LC}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{plan} + \sum_{i=0}^{I-1} \Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{fact} + \sum_{i=0}^{I-1} \Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{cor}. \quad (12)$$

Очевидно, що у разі значних фактичних змін тривалості часових інтервалів проекту, досягти запланованого значення T_{LC}^{plan} ЖЦ проекту може бути складно, але мінімізувати небажані зміни можливо, тобто $\Delta T_{LC} \rightarrow \min$.

Варіант 2. Тривалість ЖЦ проекту ЕЛС нестрого визначена

Якщо тривалість ЖЦ не визначена строго, $T_{LC}^{plan} \neq const$, та зміни $\Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj}$ у тривалості етапів ЖЦ, які вливатимуть на тривалість $\theta_{[t_i; t_{i+1}]}$ часових інтервалів, на протязі яких здійснюються ці етапи, є можливими, виконується умова $T_{LC}^{fact} \neq T_{LC}^{plan}$. При цьому тривалість ЖЦ проекту ЕЛС розраховується за формулою

$$T_{LC}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{plan} + \sum_{i=0}^{I-1} \Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{fact}. \quad (13)$$

В даному випадку, якщо $\Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} \neq 0$ та $\sum_{i=0}^{I-1} \Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]}^{fact} > 0$, обов'язкові компенсаційні дії, як у попередньому варіанті, не потрібні. Але необхідно дотримуватись умови мінімізації можливих відхилень тривалості від запланованих змін для окремих етапів $\Delta \tau_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} \rightarrow \min$, часових інтервалів $\Delta \theta_{[t_i; t_{i+1}]} \rightarrow \min$, а також ЖЦ проекту в цілому $\Delta T_{LC} \rightarrow \min$.

Висновки. ЖЦ проекту ЕЛ має специфічні особливості, які відображаються на кількості та змісті фаз, що входять до його складу. ЖЦ проекту ЕЛС включає загальноприйняті фази: передінвестиційну, інвестиційну, експлуатаційну, та специфічні еколого-орієнтовані фази: регенеративну та ревіталізаційну. Фази ЖЦ проекту ЕЛС можуть протікати як послідовно, так і перекриватись. Фази ЖЦ проекту ЕЛС складаються з етапів, між якими існують зв'язки. Застосування інструментарію теорії категорій дозволяє відобразити зв'язки між етапами проекту, визначити об'єкти (домени, кодомени) та морфізми (вхідні та вихідні) для кожного етапу проекту. Тривалість ЖЦ проекту залежить від тривалості етапів, що входять до складу фаз ЖЦ. В залежності від умови визначення тривалості ЖЦ (строго або нестрого), розробляється компенсаційний механізм для стабілізації тривалості ЖЦ. Формування часових параметрів проекту дозволяє в подальшому дослідженні визначити їх вплив на вартісні характеристики проекту ЕЛС.

Список літератури

1. Руденко С.В., Ковтун Т.А. *Екологізація логістики як напрямок реалізації концепції сталого розвитку. Проектний та логістичний менеджмент: нові знання на базі двох методологій. Том 3: монографія* / авт. кол. С.В. Руденко, І.О. Лапкіна та ін. Одеса: КУПРИЄНКО СВ. 2020. С. 7-24.
2. Ковтун Т.А. Впровадження принципів циркулярної економіки для досягнення цілей сталого розвитку. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2020. № 3 (72). С. 22-42. DOI 10.31375/2226-1915-2020-3-22-42.
3. Ellen MacArthur Foundation: *Towards a Circular Economy: Business Rationale For An Accelerated Transition*. Ellen MacArthur Foundation, 2015. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. *Национальный стандарт Российской Федерации. процессы жизненного цикла программных средств*. М., 2010. 188с.
5. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. Six Edition. USA. PMI, 2017. 574 p.
6. ГОСТ Р ИСО 21500-2014. *Национальный стандарт Российской Федерации. Руководство по проектному менеджменту*. М., 2014. 60 с.
7. *P2M «Program & Project Management for Enterprise Innovation»*. 2016. Project Management Association of Japan. URL: http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html
8. Ковтун Т.А. Фреймове моделювання продуктів проекту екологістичної системи. *Розвиток транспорту. Наук. журнал*, 2020. Вип. 1(6). С. 17-29.
9. *Международный стандарт ISO 14001:2015. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению*. 2015. 46 с.
10. ГОСТ Р ИСО 14044-2019. *Национальный стандарт Российской Федерации. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Теория и требования*. М., 2019. 48 с.
11. ГОСТ Р ИСО 37101-2018. *Национальный стандарт Российской Федерации. Устойчивое развитие в сообществах. Система менеджмента. Общие принципы и требования*. М. 2018. 45 с.

12. Городенцев А.Л. *Введение в теорию категорий и гомологическую алгебру*. М. 2018. 137 с.

References (transliterated)

1. Rudenko S.V., Kovtun T.A. *Ekologizatsiia lohistyky yak napriamok realizatsii kontseptsii staloho rozvytku. Proektnyi ta lohistychnyi menedzhment: novi znannia na bazi dvokh metodolohii. Tom 3: monohrafiia* [Greening of logistics as a direction of realization of the concept of sustainable development. Project and logistics management: new knowledge based on two methodologies. Volume 3: monograph] / avt. kol. S.V. Rudenko, I.O. Lapkina ta in. Odessa: KUPRYIENKO SV. 2020. pp. 7-24.
2. Kovtun T.A. *Vprovadzhennia pryncypiv tsyrkuliarnoi ekonomiky dlia dosiahnennia tsilei staloho rozvytku* [Introduction of the principles of circular economy to achieve the goals of sustainable development]. *Rozvytok metodiv upravlinnia ta hospodariuvannia na transporti* [Development of methods of management and administration of transport]. 2020. no. 3 (72), pp. 22-42. DOI 10.31375/2226-1915-2020-3-22-42.
3. Ellen MacArthur Foundation: *Towards a Circular Economy: Business Rationale For An Accelerated Transition*. Ellen MacArthur Foundation, 2015. Available at: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf
4. *GOST R ISO/MEK 12207-2010. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii. protsessy zhiznennogo tsikla programnykh sredstv* [State Standard R ISO / IEC 12207-2010. National standard of the Russian Federation. software life cycle processes]. Moscow, 2010, 188 p.
5. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. Six Edition. USA. PMI, 2017, 574 p.
6. *GOST R ISO 21500-2014. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii. Rukovodstvo po proyektomu menedzhmentu* [State Standard R ISO 21500-2014. National standard of the Russian Federation. Project Management Guide]. Moscow, 2014, 60 p.
7. *P2M «Program & Project Management for Enterprise Innovation»*. 2016. Project Management Association of Japan. Available: http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html
8. Kovtun T.A. *Freimove modeliuвання produktiv proiektu ekolohistychnoi systemy* [Frame modeling of ecological system project products]. *Rozvytok transportu. Nauk. Zhurnal* [Transport development. Science. magazines], 2020, no. 1(6), pp. 17-29.
9. *Mezhdunarodnyy standart ISO 14001:2015. Sistemy ekologicheskogo menedzhmenta. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu* [International standard ISO 14001: 2015. Environmental management systems. Requirements and guidance for use]. 2015, 46 p.
10. *GOST R ISO 14044-2019. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii. Ekologicheskii menedzhment. Otsenka zhiznennogo tsikla. Teoriya i trebovaniya* [[State Standard R ISO 14044-2019. National standard of the Russian Federation. Environmental management. Life Cycle Assessment. Theory and requirements]. Moscow, 2019, 48 p.
11. *GOST R ISO 37101-2018. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii. Ustoychivoye razvitiye v soobshchestvakh. Sistema menedzhmenta. Obshchiye printsipy i trebovaniya* [State Standard R ISO 37101-2018. National standard of the Russian Federation. Sustainable development in communities. Management system. General principles and requirements]. Moscow, 2018, 45 p.
12. Horodentsev A.L. *Vvedeniye v teoriyu katehoriy y homolohycheskuiu algebru* [Introduction to category theory and homological algebra]. Moscow, 2018, 137 p.

Надійшла 02.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковтун Тетяна Антонівна (Ковтун Татьяна Антоновна, Kovtun Tatiana) – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри «Управління логістичними системами та проектами»; м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5410-4783>; e-mail: teta.kovtun@gmail.com