

УДК 005.8

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.220964

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ ГРОШОВИХ ПОТОКІВ ПРОЄКТУ ЕКОЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Ковтун Т. А.

*Об'єктом дослідження є потоки грошових коштів, що отримуються на протязі життєвого циклу проекту екологістичної системи як сучасної трансформаційної моделі логістичної системи, що дозволяє досягти екологічних цілей концепції сталого розвитку. Зміна світогляду людства потребує застосування сучасних підходів до управління проектами екологістичних систем, що відповідають вимогам зменшення екодеструктивного впливу на довкілля.*

*Необхідність врахування та ліквідації негативних наслідків функціонування екологістичної системи призвела до потреби подовження життєвого циклу проекту за рахунок введення додаткових еколого-орієнтованих фаз: регенеративної та ревіталізаційної. Зміна складу життєвого циклу впливає на грошові потоки, що формуються на протязі всього життєвого циклу проекту та знаходяться в залежності від факторів внутрішнього середовища та зовнішнього оточення. Одним з найпроблемніших місць в оцінці ефективності проекту екологістичної системи є моделювання потоків грошових коштів на різних етапах проекту.*

*Застосовано інструментарій методології управління проектами для визначення грошових потоків, що генеруються на протязі життєвого циклу проекту. Отримані результати відображають залежність між часовими та грошовими параметрами проекту екологістичної системи. Наявність даної залежності дозволила розробити механізм моделювання грошових потоків проекту, що враховує два варіанти визначення тривалості його життєвого циклу (строго та нестрого визначену). В залежності від можливості впливати на тривалість життєвого циклу проекту передбачається застосування ситуативних або компенсаційних змін тривалості часових етапів, що впливає на значення потоків грошових коштів проекту. Застосування представлених в роботі розрахункових формул дозволяє моделювати потоки грошових коштів для етапів, часових інтервалів та всього життєвого циклу проекту екологістичної системи. Запропонований механізм моделювання грошових потоків може бути застосований при оцінці ефективності проекту екологістичної системи.*

**Ключові слова:** екологістична система, життєвий цикл проекту, часові та грошові параметри проекту, потік грошових коштів.

### 1. Вступ

Врахування сучасних тенденцій розвитку людства на основі концепції сталого розвитку, направлених на збереження гідних умов існування наступним

поколінням, потребує екологізації всіх сфер життя людини. Досягти зменшення екодеструктивного впливу господарчої діяльності на довкілля можливо шляхом урахування екологічних аспектів в процесі функціонування економічних систем, зокрема логістичних. Запобігання та ліквідація наслідків негативного екодеструктивного впливу на довкілля потребує трансформації логістичних систем, що відповідають сучасній лінійній моделі економіки, в більш гуманні до довкілля екологістичні системи.

Підвищення успішності впровадження проєктів екологістичних систем можливо завдяки застосуванню інструментарію сучасних методологій управління, зокрема управління проєктами. Отже, моделювання грошових потоків проєкту екологістичної системи, що надходять на протязі його життєвого циклу, з урахуванням специфічних особливостей даної категорії проєктів, є актуальним напрямком дослідження.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

*Об'єктом дослідження* є потоки грошових коштів, що отримуються на протязі життєвого циклу проєкту екологістичної системи як сучасної трансформаційної моделі логістичної системи, що дозволяє досягти екологічних цілей концепції сталого розвитку. Потоки грошових коштів формуються на протязі всього життєвого циклу проєкту та можуть приймати, в залежності від етапу проєкту, як позитивні, так і негативні значення. Значення потоків грошових коштів складаються з притоків та відтоків коштів, що знаходяться в залежності від факторів внутрішнього середовища та зовнішнього оточення. Отже, одним з найпроблемніших місць при оцінці ефективності проєкту екологістичної системи є моделювання потоків грошових коштів. Питання не є достатньо вивченим та потребує дослідження.

## **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою роботи* є визначення особливостей моделювання грошових потоків життєвого циклу проєкту екологістичної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити потоки грошових коштів на протязі життєвого циклу проєкту екологістичної системи.
2. Розробити механізм впливу на часові параметри життєвого циклу проєкту екологістичної системи.
3. Провести моделювання потоків грошових коштів проєкту екологістичної системи.

## **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Життєвий цикл (ЖЦ) є одним з основних понять методології управління проєктами. В залежності від об'єкту дослідження, існує багато різновидів життєвого циклу: організації, продукту, товару, інформації, клієнта, команди, проєкту, документу, інновації, логістичної системи тощо. В управлінні проєктами під життєвим циклом проєкту розуміють період часу від початку до завершення проєкту (табл. 1).

Таблиця 1

## Трактування поняття «життєвий цикл проекту»

A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBoK) [1] Період часу від початку до завершення проекту називається життєвим циклом проекту
Национальный стандарт Российской Федерации (РФ). Руководство по проектному менеджменту [2] Життєвий цикл проекту охоплює період часу від початку проекту до його планового завершення або дострокового припинення
P2M «Program & Project Management for Enterprise Innovation» [3] 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 та контролю. Фази проекту – це окремі частини в межах проекту, які потребують додаткового контролю для ефективного управління досягненням основного результату проекту [2].

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 [4].

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 [1].

Проект вважається закінченим, коли досягнуті його цілі. Проте, 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).

Зростаюча важливість проблеми захисту навколишнього середовища та можливих впливів, пов'язаних з продукцією, що виготовляється та споживається, потребує подовження життєвого циклу за рахунок додавання еколого-орієнтованих фаз (етапів, стадій). Відповідно до [5] стадії життєвого циклу повинні включати в себе придбання сировини, проектування, виробництво, транспортування/постачання, застосування, переробку після втрати придатності та остаточну утилізацію. В [6] оцінка життєвого циклу включає розгляд життєвого циклу продукту від видобутку сировини та його придбання до застосування продукту та наступного припинення його використання та остаточної утилізації. Для врахування специфічних особливостей життєвого циклу різноманітних систем, в тому числі проектів, будується модель життєвого циклу. Модель уявляє собою структуру процесів та дій, пов'язаних з життєвим циклом, що організуються в стадії, які також служать в якості загального посилання для

встановлення зв'язків та взаєморозуміння сторін. Кожна стадія описується формулюванням цілей та виходів.

**Таблиця 2**

Трактування поняття «життєвий цикл», що враховують екологічний аспект

Международный стандарт ISO 14001:2004. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению [5] Життєвий цикл (life cycle) – послідовні стадії системи виробництва продуктів (або послуг) від придбання сировини або вироблення з природних ресурсів для остаточної утилізації
Национальный стандарт РФ. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла [6] 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 [7] Життєвий цикл – послідовні та взаємозв'язані стадії продукції (або послуг), від закупівлі сировини або виробництва з природних ресурсів до утилізації

Зміна поглядів на тривалість та склад фаз життєвого циклу впливає на процес формування параметрів проекту – специфічних характеристик, від управління якими залежить успіх проекту. Важливість управління часом та вартістю проекту підтверджується винесенням цих питань в окремі галузі знань методології управління проектами [1].

Дослідження об'єктних, часових, грошових параметрів проекту проводиться в роботах сучасних науковців. В [8] запропоновано застосування генетичного підходу до формування об'єктних та грошових характеристик продуктів проекту. Оптимізувати часові параметри проекту, спираючись на параметри продуктів проекту, пропонуються в роботі [9]. Обґрунтовуються об'єктні та часові параметри проекту в [10]. На необхідності управління часовими характеристиками фаз ЖЦ проекту наполягають автори в [11, 12]. В роботах [13, 14] питання управління часом проекту розглядаються на рівні дослідження формування розкладу робіт проекту. В [15] для формування графіку робіт проекту пропонується застосовувати інструментарій штучного інтелекту, а саме генетичні алгоритми. Метод статичного та динамічного планування характеристик проекту з обмеженими ресурсами пропонується в [16]. На урахуванні обмежених ресурсів при визначенні параметрів проекту зосереджують увагу дослідники в роботах [17, 18]. Пропонується прийняття компромісних рішень між часовими та грошовими характеристиками проекту у випадку обмежених ресурсів в роботі [19].

Життєвий цикл проекту (склад та тривалість фаз, етапів, часові та грошові параметри, що їм відповідають), в значній мірі залежать від характеристик самого проекту (сфери застосування, масштабів, складності тощо). В особливу категорію проектів виділяються проекти екологічних систем, життєвий цикл яких зазнав трансформаційних змін у зв'язку з їх екологічною орієнтованістю систем. Відповідні зміни сталися з часовими та грошовими характеристиками

життєвого циклу проєкту. Моделювання грошових потоків проєктів екологістичних систем не отримало достатньої уваги в роботах сучасних науковців, отже потребує дослідження.

### **5. Методи досліджень**

В процесі наукового дослідження застосовано загально-наукові та спеціальні методи дослідження.

Методи аналізу, синтезу, аналогій використані при проведенні аналізу сучасного визначення життєвого циклу проєкту, його фаз, продуктів та виявлені проблеми врахування екологічної складової в проєктах екологістичних систем. Інструментарій методології управління проєктами, а саме, моделі та методи управління часом проєкту застосовані при визначенні тривалості етапів, часових інтервалів життєвого циклу проєкту. Методи управління вартістю проєкту застосовані при моделюванні потоків грошових коштів, що генеруються на протязі життєвого циклу проєкту. Також при моделюванні грошових потоків застосовано метод інтегрування математичного аналізу.

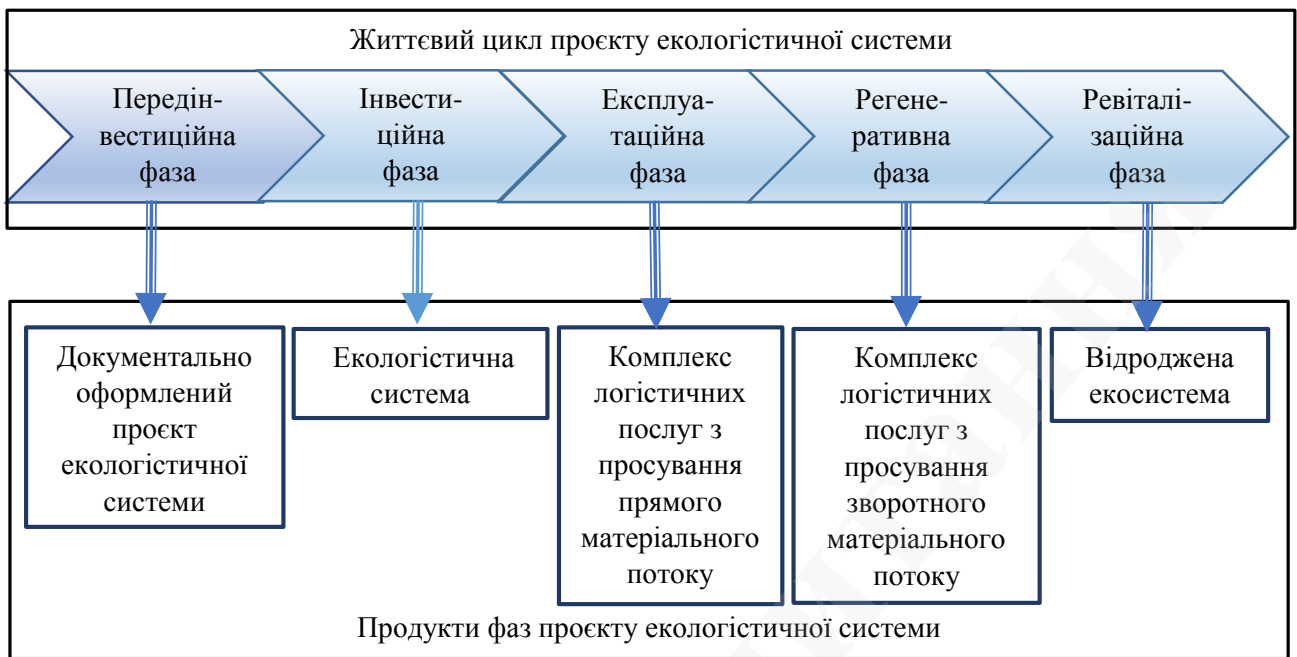
### **6. Результати досліджень**

Життєвий цикл проєкту екологістичної системи має відмінності від проєкту життєвого циклу проєкту логістичної системи, обґрунтовані специфічними особливостями даного типу проєктів. Пропонується поділяти життєвий цикл проєкту екологістичної системи на наступні фази: передінвестиційну, інвестиційну, експлуатаційну, регенеративну, ревіталізаційну.

Три перші фази (передінвестиційна, інвестиційна, експлуатаційна) є стандартними фазами для сучасних інвестиційних проєктів, в тому числі логістичних систем. Наявність четвертої регенеративної фази відображає специфіку еколого-орієнтованої логістичної системи та забезпечує замикання логістичного ланцюга. Саме на протязі цієї фази протікають циркулярні процеси по поверненню продукту (його частин або матеріалів) в процеси виробництва та споживання. Остання, п'ята ревіталізаційна фаза пов'язана з ліквідацією екодеструктивних наслідків, яких зазнала екосистема від створення та функціонування екологістичної системи. Вона може бути тривалою, оскільки негативний вплив на навколишнє середовище може не проявитись відразу та мати пролонговану дію, а екосистема також потребує часу на відновлення.

Кожна фаза проєкту закінчується отриманням певного результату – продукту:

- 1) на передінвестиційній фазі – документально оформленого проєкту екологістичної системи;
- 2) на інвестиційній фазі – екологістичної системи в матеріальному уявленні;
- 3) на експлуатаційній фазі – комплексу логістичних послуг з просування прямих матеріальних та супутніх потоків;
- 4) на регенеративній фазі – комплексу логістичних послуг з просування зворотних рециклінгово-утилізаційних та супутніх потоків;
- 5) на ревіталізаційній фазі – комплексу дій з відродження, оздоровлення екосистеми (рис. 1).



**Рис. 1.** Життєвий цикл та продукти проекту екологічної системи

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

В проектах екологічних систем фази життєвого циклу можуть протікати як послідовно одна за одною, так і перекриватись. Інвестиційна фаза настає після завершення передінвестиційної фази. Регенеративна фаза починається до завершення експлуатаційної фази, коли продукт від кінцевого споживача поступає в зворотний потік матеріальних ресурсів. Ревіталізаційна фаза починається разом з інвестиційною та протікає майже до закінчення проекту.

Фази життєвого циклу проекту екологічної системи складають множину фаз проектів  $C^f$ ,  $(f = \overline{1;F})$ . Етапи (стадії) фаз проекту складають множину  $S^{fj}$ ,  $f (f = \overline{1;F})$  – фаза проекту,  $j (j = \overline{1;J})$  – етап фази. Етапам фаз проекту відповідають часові інтервали:

$$[t_i; t_{i+1}] \quad (i = \overline{1;I-1}),$$

де  $t_i$  – початок,  $t_{i+1}$  – закінчення часового інтервалу тривалості етапу фази проекту, які є віховими подіями. На протязі життєвого циклу проекту екологічної системи пропонується виділяти наступні віхові події:

$t_0$  – початок проекту, передінвестиційної фази;

$t_1$  – початок інвестиційної та ревіталізаційної фаз, закінчення передінвестиційної фази;

$t_2$  – початок експлуатаційної фази, закінчення інвестиційної фази;

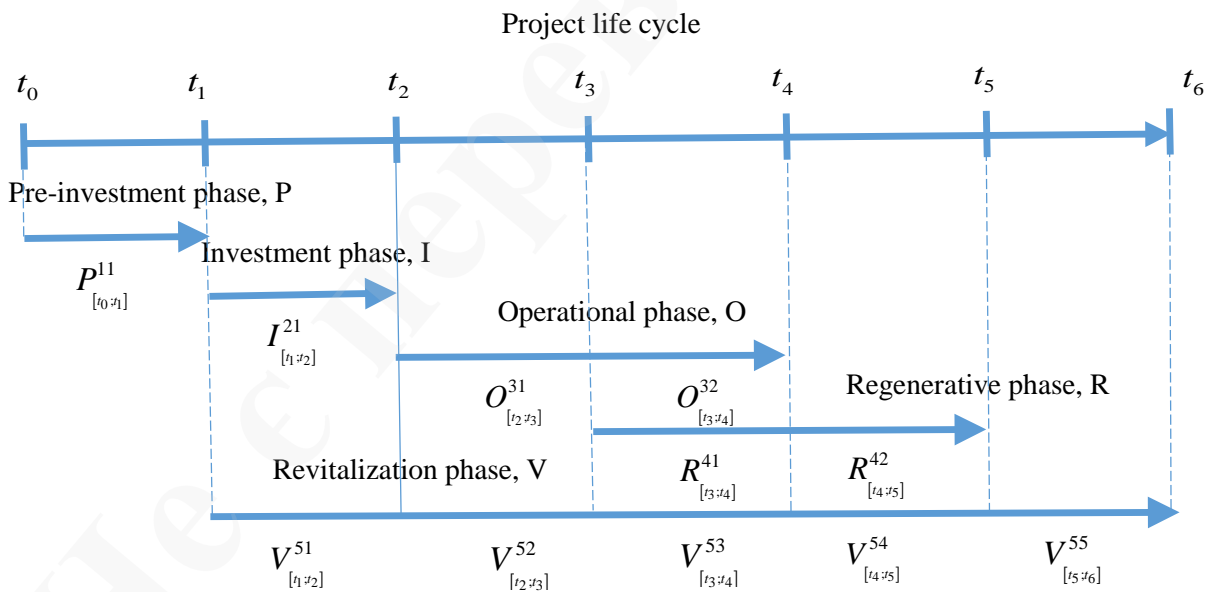
$t_3$  – початок регенеративної фази;

- $t_4$  – закінчення експлуатаційної фази;
- $t_5$  – закінчення регенеративної фази;
- $t_6$  – закінчення проекту, ревіталізаційної фази.

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

До життєвого циклу проекту екологістичної системи входять фази, які відрізняються кількістю етапів в їх складі (рис. 2):

- перша, передінвестиційна фаза –  $P^{11}_{[t_0; t_1]}$  ;
- 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. 2.** Життєвий цикл проекту екологістичної системи

Етапи життєвого циклу проекту екологістичної системи (ЕЛС) завершуються отриманням проміжного результату – продукту фази (етапу) проекту, який належить до множини продуктів проекту (табл. 3):

$$R^{fj}_{[t_i; t_{i+1}]}, \quad f (f = \overline{1; F}), \quad j (j = \overline{1; J}), \quad (i = \overline{1; I-1}).$$

Таблиця 3

## Результати етапів життєвого циклу проекту екологістичної системи

Часовий інтервал	Етап фази ЖЦ проекту ЕЛС	Проміжний результат – продукт фази (етапу) проекту
$[t_0; t_1]$	передінвестиційна фаза, $P_{[t_0; t_1]}^{11}$	документально оформлений проєкт ЕЛС, $PD_{[t_0; t_1]}^{11}$
$[t_1; t_2]$	інвестиційна фаза, $I_{[t_1; t_2]}^{21}$	ЕЛС, $ELS_{[t_1; t_2]}^{21}$
	етап ревіталізаційної фази, $V_{[t_1; t_2]}^{51}$	ревіталізація наслідків створення ЕЛС, $RV_{[t_1; t_2]}^{51}$
$[t_2; t_3]$	етап експлуатаційної фази, $O_{[t_2; t_3]}^{31}$	ЕЛП (прямий матеріальний потік), $DMF_{[t_2; t_3]}^{31}$
	етап ревіталізаційної фази, $V_{[t_2; t_3]}^{52}$	ревіталізація наслідків ЕЛП (прямого матеріального потоку), $RV_{[t_2; t_3]}^{52}$
$[t_3; t_4]$	етап експлуатаційної фази, $O_{[t_3; t_4]}^{32}$	ЕЛП (прямий матеріальний потік), $DMF_{[t_3; t_4]}^{32}$
	етап регенеративної фази, $R_{[t_3; t_4]}^{41}$	ЕЛП (зворотний матеріальний потік), $RMF_{[t_3; t_4]}^{41}$
	етап ревіталізаційної фази, $V_{[t_3; t_4]}^{53}$	ревіталізація наслідків ЕЛП (прямого та зворотного матеріальних потоків), $RV_{[t_3; t_4]}^{53}$
$[t_4; t_5]$	етап регенеративної фази, $R_{[t_4; t_5]}^{42}$	ЕЛП (зворотний матеріальний потік), $RMF_{[t_4; t_5]}^{42}$
	етап ревіталізаційної фази, $V_{[t_4; t_5]}^{54}$	ревіталізація наслідків ЕЛП (зворотного матеріального потоку), $RV_{[t_4; t_5]}^{54}$
$[t_5; t_6]$	етап ревіталізаційної фази, $V_{[t_5; t_6]}^{55}$	ревіталізація наслідків проекту ЕЛС, $RV_{[t_5; t_6]}^{55}$

Життєвий цикл проекту екологістичної системи характеризується часовими й вартісними параметрами. Основними вартісними показниками є потоки грошових коштів проекту  $CF_{[t_j; t_{j+1}]}^{fj}$ ,  $(f = \overline{1; F})$ ,  $(j = \overline{1; J})$ ,  $(i = \overline{1; I-1})$ , які формуються з притоків  $IF_{[t_j; t_{j+1}]}^{fj}$  та відтоків  $OF_{[t_j; t_{j+1}]}^{fj}$  грошових коштів, значення яких відрізняються на різних часових інтервалах та етапах проекту.

Отже, в для характеристики життєвого циклу проекту екологістичної системи формуються наступні множини:

– множина фаз життєвого циклу проекту:



$$C^f = \{P; I; O; R; V\};$$

– множина часових інтервалів життєвого циклу проекту:

$$TI^f = \{[t_0; t_1]; [t_1; t_2]; [t_2; t_3]; [t_3; t_4]; [t_4; t_5]; [t_5; t_6]\};$$

– множина етапів фаз життєвого циклу проекту:

$$S^{fj} = \left\{ P_{[t_0; t_1]}^{11}; I_{[t_1; t_2]}^{21}; O_{[t_2; t_3]}^{31}; O_{[t_3; t_4]}^{32}; R_{[t_3; t_4]}^{41}; R_{[t_4; t_5]}^{42}; V_{[t_1; t_2]}^{51}; V_{[t_2; t_3]}^{52}; V_{[t_3; t_4]}^{53}; V_{[t_4; t_5]}^{54}; V_{[t_5; t_6]}^{55} \right\};$$

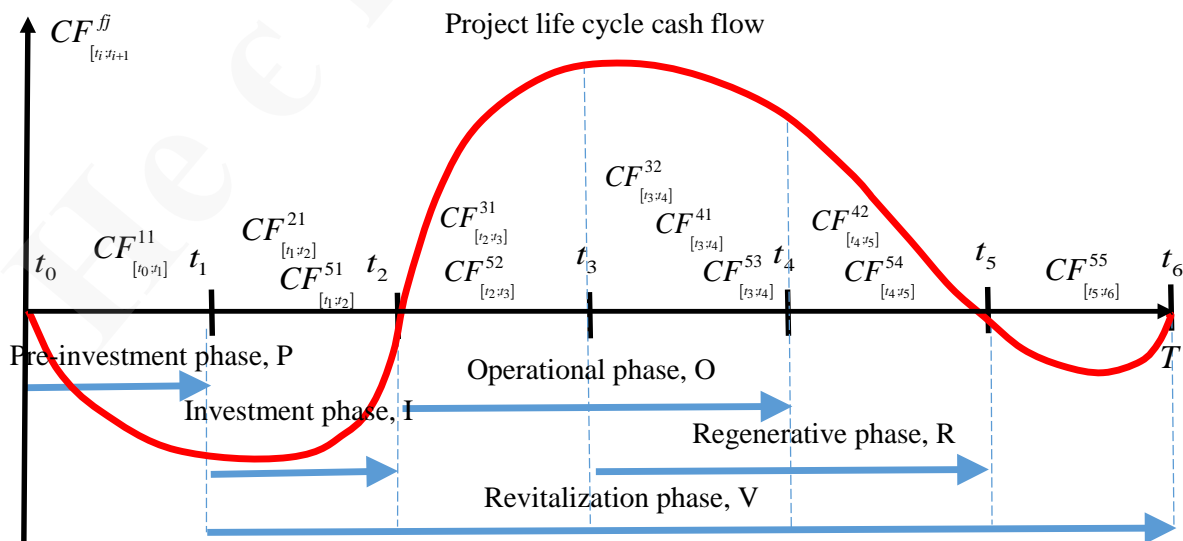
– множина результатів етапів – проміжних продуктів проекту:

$$R_{[t_i; t_{i+1}] }^{fj} = \left\{ PD_{[t_0; t_1]}^{11}; ELS_{[t_1; t_2]}^{21}; DMF_{[t_2; t_3]}^{31}; DMF_{[t_3; t_4]}^{32}; RMF_{[t_3; t_4]}^{41}; RMF_{[t_4; t_5]}^{42}; RV_{[t_1; t_2]}^{51}; RV_{[t_2; t_3]}^{52}; RV_{[t_3; t_4]}^{53}; RV_{[t_4; t_5]}^{54}; RV_{[t_5; t_6]}^{55} \right\};$$

– множина потоків грошових коштів, які генерують проміжні продукти проекту:

$$CF_{[t_i; t_{i+1}] }^{fj} = \left\{ CF_{[t_0; t_1]}^{11}; CF_{[t_1; t_2]}^{21}; CF_{[t_2; t_3]}^{31}; CF_{[t_3; t_4]}^{32}; CF_{[t_3; t_4]}^{41}; CF_{[t_4; t_5]}^{42}; CF_{[t_1; t_2]}^{51}; CF_{[t_2; t_3]}^{52}; CF_{[t_3; t_4]}^{53}; CF_{[t_4; t_5]}^{54}; CF_{[t_5; t_6]}^{55} \right\}.$$

Потоки грошових коштів  $CF_{[t_i; t_{i+1}] }^{fj}$  різняться на протязі життєвого циклу та приймають позитивні та негативні значення в залежності від етапу проекту (рис. 3).



**Рис. 3.** Потоки грошових коштів на протязі життєвого циклу проекту екологістичної системи

Відмінною рисою проєктів екологістичних систем є наявність додаткових еколого-орієнтованих фаз життєвого циклу: регенеративної та ревіталізаційної. Додавання цих фаз до життєвого циклу вносить певні зміни в формування грошових потоків проєкту. Збільшується кількість фаз, на яких формуються притоки грошових коштів за рахунок регенеративної фази. Також збільшується кількість фаз, на протязі яких утворюються відтоки грошових коштів за рахунок регенеративної та ревіталізаційної фази (табл. 4).

**Таблиця 4**

Грошові потоки етапів життєвого циклу проєкту екологістичної системи

Часовий інтервал	Етап фази ЖЦ проєкту ЕЛС	Продукт фази (етапу) проєкту	Потоки грошових коштів	Значення	
				притоків грошових коштів	відтоків грошових коштів
$[t_0; t_1]$	$P_{[t_0; t_1]}^{11}$	$PD_{[t_0; t_1]}^{11}$	$CF_{[t_0; t_1]}^{11}$	$IF_{[t_0; t_1]}^{11} = 0$	$OF_{[t_0; t_1]}^{11} < 0$
$[t_1; t_2]$	$I_{[t_1; t_2]}^{21}$	$ELS_{[t_1; t_2]}^{21}$	$CF_{[t_1; t_2]}^{21}$	$IF_{[t_1; t_2]}^{21} = 0$	$OF_{[t_1; t_2]}^{21} < 0$
	$V_{[t_1; t_2]}^{51}$	$RV_{[t_1; t_2]}^{51}$	$CF_{[t_1; t_2]}^{51}$	$IF_{[t_1; t_2]}^{51} = 0$	$OF_{[t_1; t_2]}^{51} < 0$
$[t_2; t_3]$	$O_{[t_2; t_3]}^{31}$	$DMF_{[t_2; t_3]}^{31}$	$CF_{[t_2; t_3]}^{31}$	$IF_{[t_2; t_3]}^{31} > 0$	$OF_{[t_2; t_3]}^{31} < 0$
	$V_{[t_2; t_3]}^{52}$	$RV_{[t_2; t_3]}^{52}$	$CF_{[t_2; t_3]}^{52}$	$IF_{[t_2; t_3]}^{52} = 0$	$OF_{[t_2; t_3]}^{52} < 0$
$[t_3; t_4]$	$O_{[t_3; t_4]}^{32}$	$DMF_{[t_3; t_4]}^{32}$	$CF_{[t_3; t_4]}^{32}$	$IF_{[t_3; t_4]}^{32} > 0$	$OF_{[t_3; t_4]}^{32} < 0$
	$R_{[t_3; t_4]}^{41}$	$RMF_{[t_3; t_4]}^{41}$	$CF_{[t_3; t_4]}^{41}$	$IF_{[t_3; t_4]}^{41} > 0$	$OF_{[t_3; t_4]}^{41} < 0$
	$V_{[t_3; t_4]}^{53}$	$RV_{[t_3; t_4]}^{53}$	$CF_{[t_3; t_4]}^{53}$	$IF_{[t_3; t_4]}^{53} = 0$	$OF_{[t_3; t_4]}^{53} < 0$
$[t_4; t_5]$	$R_{[t_4; t_5]}^{42}$	$RMF_{[t_4; t_5]}^{42}$	$CF_{[t_4; t_5]}^{42}$	$IF_{[t_4; t_5]}^{42} > 0$	$OF_{[t_4; t_5]}^{42} < 0$
	$V_{[t_4; t_5]}^{54}$	$RV_{[t_4; t_5]}^{54}$	$CF_{[t_4; t_5]}^{54}$	$IF_{[t_4; t_5]}^{54} = 0$	$OF_{[t_4; t_5]}^{54} < 0$
$[t_5; t_6]$	$V_{[t_5; t_6]}^{55}$	$RV_{[t_5; t_6]}^{55}$	$CF_{[t_5; t_6]}^{56}$	$IF_{[t_5; t_6]}^{56} = 0$	$OF_{[t_5; t_6]}^{56} < 0$

Отже, крім множини потоків грошових коштів проєкту  $CF_{[t_i; t_{i+1}]}$  формуються наступні множини грошових показників:

– множина відтоків грошових коштів:

$$OF_{[t_i; t_{i+1}]}^{\hat{f}} = \left\{ OF_{[t_0; t_1]}^{11}; OF_{[t_1; t_2]}^{21}; OF_{[t_2; t_3]}^{31}; OF_{[t_3; t_4]}^{32}; OF_{[t_3; t_4]}^{41}; OF_{[t_4; t_5]}^{42}; OF_{[t_1; t_2]}^{51}; OF_{[t_2; t_3]}^{52}; OF_{[t_3; t_4]}^{53}; OF_{[t_4; t_5]}^{54}; OF_{[t_5; t_6]}^{55} \right\};$$

– множина притоків грошових коштів:

$$IF_{[t_i; t_{i+1}]}^{\hat{f}} = \left\{ IF_{[t_0; t_1]}^{11}; IF_{[t_1; t_2]}^{21}; IF_{[t_2; t_3]}^{31}; IF_{[t_3; t_4]}^{32}; IF_{[t_3; t_4]}^{41}; IF_{[t_4; t_5]}^{42}; IF_{[t_1; t_2]}^{51}; IF_{[t_2; t_3]}^{52}; IF_{[t_3; t_4]}^{53}; IF_{[t_4; t_5]}^{54}; IF_{[t_5; t_6]}^{55} \right\}.$$

При розрахунку грошових потоків, що надходять на протязі часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$ , ( $i = \overline{0; I-1}$ ), необхідно враховувати потоки грошових коштів, що генеруються при створенні продуктів фаз проекту на певних часових інтервалах. Розраховуються потоки грошових коштів за формулою:

$$CF_{[t_i; t_{i+1}]} = \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J CF_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} if(t)dt + \int_{t_i}^{t_{i+1}} of(t)dt, \quad (1)$$

де  $\int_{t_i}^{t_{i+1}} if(t)dt$  – притоки грошових коштів, що генеруються на протязі часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$ ;

$\int_{t_i}^{t_{i+1}} of(t)dt$  – відтоки грошових коштів, що генеруються на протязі часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$ .

Для кожного часового інтервалу життєвого циклу можна розрахувати значення потоків грошових коштів (2)–(7) (табл. 5).

**Таблиця 5**

**Формули для розрахунку потоків грошових коштів проекту екологістичної системи**

Часовий інтервал	Формула для розрахунку потоків грошових коштів	Номер формули
1	2	3
$[t_0; t_1]$	$CF_{[t_0; t_1]} = CF_{[t_0; t_1]}^{41} = \int_0^1 cf(t)dt = \int_0^1 if(t)dt + \int_0^1 of(t)dt$	(2)
$[t_1; t_2]$	$CF_{[t_1; t_2]} = CF_{[t_1; t_2]}^{21} + CF_{[t_1; t_2]}^{51} = \int_1^2 cf^{21}(t)dt + \int_1^2 cf^{51}(t)dt =$ $= \int_1^2 if^{21}(t)dt + \int_1^2 of^{21}(t)dt + \int_1^2 if^{51}(t)dt + \int_1^2 of^{51}(t)dt$	(3)
$[t_2; t_3]$	$CF_{[t_2; t_3]} = CF_{[t_2; t_3]}^{31} + CF_{[t_2; t_3]}^{52} = \int_2^3 cf^{31}(t)dt + \int_2^3 cf^{52}(t)dt =$ $= \int_2^3 if^{31}(t)dt + \int_2^3 of^{31}(t)dt + \int_2^3 if^{52}(t)dt + \int_2^3 of^{52}(t)dt$	(4)

Продовження таблиці 5

1	2	3
[t <sub>3</sub> ;t <sub>4</sub> ]	$CF_{[t_3;t_4]} = CF_{[t_3;t_4]}^{32} + CF_{[t_3;t_4]}^{41} + CF_{[t_3;t_4]}^{53} = \int_3^4 cf^{32}(t)dt +$ $+ \int_3^4 cf^{41}(t)dt + \int_3^4 cf^{53}(t)dt = \int_3^4 if^{32}(t)dt + \int_3^4 of^{32}(t)dt +$ $+ \int_3^4 of^{41}(t)dt + \int_3^4 of^{53}(t)dt + \int_3^4 if^{53}(t)dt + \int_3^4 of^{53}(t)dt$	(5)
[t <sub>4</sub> ;t <sub>5</sub> ]	$CF_{[t_4;t_5]} = CF_{[t_4;t_5]}^{42} + CF_{[t_4;t_5]}^{54} = \int_4^5 cf^{42}(t)dt + \int_4^5 cf^{54}(t)dt =$ $= \int_4^5 if^{42}(t)dt + \int_4^5 of^{42}(t)dt + \int_4^5 if^{54}(t)dt + \int_4^5 of^{54}(t)dt$	(6)
[t <sub>5</sub> ;t <sub>6</sub> ]	$CF_{[t_5;t_6]} = CF_{[t_5;t_6]}^{56} = \int_5^6 cf^{56}(t)dt = \int_5^6 if^{56}(t)dt + \int_5^6 of^{56}(t)dt$	(7)

Загальні потоки грошових коштів на протязі життєвого циклу проекту екологістичної системи розраховуються за формулою:

$$CF_{LC} = \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J CF_{[t_i;t_{i+1}]}^{fj} = \int_{t_i}^{t_{i-1}} if(t)dt + \int_{t_i}^{t_{i-1}} of(t)dt, \quad (8)$$

де  $\int_{t_i}^{t_{i-1}} if(t)dt$  – притоки грошових коштів, що генеруються на протязі життєвого циклу проекту;

$\int_{t_i}^{t_{i-1}} of(t)dt$  – відтоки грошових коштів, що генеруються на протязі життєвого циклу проекту.

Відтоки грошових коштів мають значення, що не дорівнюють нулю, на протязі всіх часових інтервалів проекту. На відміну від них, притоки грошових коштів генеруються лише на протязі експлуатаційної та регенеративної фаз проекту. В такому випадку, загальне значення потоку грошових коштів, які заплановано отримати на протязі проекту, визначається як сума потоків та відтоків грошових коштів на певних часових інтервалах проекту та розраховується за формулою:

$$CF_{LC}^{plan} = IF_{LC}^{plan} + OF_{LC}^{plan}, \quad (9)$$

де  $IF_{LC}^{plan}$  та  $OF_{LC}^{plan}$  – заплановані значення притоків та відтоків грошових коштів відповідно,  $IF_{LC}^{plan} \geq 0$  та  $OF_{LC}^{plan} < 0$ .

Заплановані значення грошових показників життєвого циклу проекту

екологістичної системи розраховуються за формулами (10), (11):

– притоки грошових коштів:

$$IF_{LC}^{plan} = \int_{t_2}^{t_5} if(t)dt = \int_{t_2}^{t_3} if(t)dt + \int_{t_3}^{t_4} if(t)dt + \int_{t_4}^{t_5} if(t)dt, \quad (10)$$

– відтоки грошових коштів:

$$OF_{LC}^{plan} = \int_{t_0}^{t_6} of(t)dt = \int_{t_0}^{t_1} of(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} of(t)dt + \int_{t_2}^{t_3} of(t)dt + \int_{t_3}^{t_4} of(t)dt + \int_{t_4}^{t_5} of(t)dt + \int_{t_5}^{t_6} of(t)dt, \quad (11)$$

Тривалість етапів та фаз життєвого циклу проекту може змінюватись під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів. Існує два можливих підходи до моделювання тривалості життєвого циклу проекту екологістичної системи:

1. Тривалість життєвого циклу проекту може змінюватись, термін закінчення проекту не є строго визначеним. Тоді зміни в тривалості окремих фаз позначаються на фактичній загальній тривалості життєвого циклу проекту  $T_{LC}^{fact}$ .

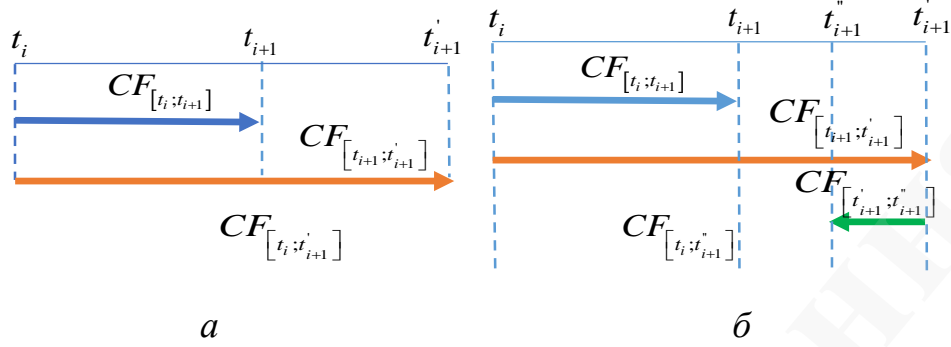
2. Тривалість життєвого циклу  $T_{LC}^{plan}$  є визначеною, проект повинен бути завершений в строго визначений термін. В цьому разі у випадку зміни тривалості попередньої фази повинна змінюватись тривалість наступної фази або наступних фаз для збереження загальної тривалості життєвого циклу проекту (табл. 6).

**Таблиця 6**

Варіанти тривалості життєвого циклу проекту екологістичної системи

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

В залежності від вибору варіанту управління тривалістю проекту, визначаються грошові параметри проекту (рис. 4).



**Рис. 4.** Грошові потоки при різних варіантах тривалості життєвого циклу проекту екологістичної системи: *a* – визначена нестрого; *б* – визначена строго

*Варіант 1. Тривалість життєвого циклу проекту екологістичної системи нестрого визначена*

У випадку ситуаційних змін тривалості запланованого часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$  проекту на фактичний  $[t_i; t'_{i+1}]$ , зміни відбудуться у значенні потоків грошових коштів, які генеруються на протязі етапів проекту  $CF_{[t_i; t_{i+1}]}$  та часових інтервалів  $CF_{[t_i; t'_{i+1}]}$  (рис. 4). На часовому інтервалі  $[t_i; t'_{i+1}]$  генеруються притоки  $IF_{[t_{i+1}; t'_{i+1}]}$  та відтоки  $OF_{[t_{i+1}; t'_{i+1}]}$  грошових коштів, які створюють додатковий незапланований грошовий потік  $CF_{[t_{i+1}; t'_{i+1}]}$ , який розраховується за формулою:

$$CF_{[t_{i+1}; t'_{i+1}]} = \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J CF_{[t_{i+1}; t'_{i+1}]}^{fj} = \int_{t_{i+1}}^{t'_{i+1}} if(t)dt + \int_{t_{i+1}}^{t'_{i+1}} of(t)dt, \quad (12)$$

де  $\int_{t_{i+1}}^{t'_{i+1}} if(t)dt$  – притоки грошових коштів, що генеруються на протязі часового інтервалу  $[t_i; t'_{i+1}]$ ;

$\int_{t_{i+1}}^{t'_{i+1}} of(t)dt$  – відтоки грошових коштів, що генеруються на протязі часового інтервалу  $[t_i; t'_{i+1}]$ .

У випадку зміни строків закінчення попереднього інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$  після ситуаційних змін на  $[t_i; t'_{i+1}]$  змінюються строки початку наступного інтервалу на  $[t'_i; t''_{i+1}]$ .

Загальна сума грошових коштів на протязі всього життєвого циклу проекту екологістичної системи розраховується за формулою:

$$CF_{LC}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J CF_{[t_i; t_{i+1}]}^{fj} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} if(t)dt + \int_{t_i}^{t_{i+1}} of(t)dt, \quad (13)$$

де  $\int_{t_i}^{t_{i+1}} if(t)dt$  – притоки грошових коштів, що генеруються на протязі життєвого циклу проекту;

$\int_{t_i}^{t_{i+1}} of(t)dt$  – відтоки грошових коштів, що генеруються на протязі життєвого циклу проекту.

*Варіант 2. Тривалість життєвого циклу проекту екологістичної системи строго визначена*

Вирішується завдання стабілізації тривалості життєвого циклу проекту шляхом вживання заходів щодо компенсації змін тривалостей етапів життєвого циклу, що в свою чергу впливає на зміну тривалостей часових інтервалів, яким відповідають дані етапи. На реалізацію заходів щодо повернення тривалості запланованого часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$  з фактичного  $[t_i; t'_{i+1}]$  до скоригованого  $[t'_i; t''_{i+1}]$  необхідно витрати певні грошові кошти. Кількість коштів визначається сумою коштів, витрачених на коригування тривалостей кожного з етапів проекту, тривалість яких змінюється на протязі часового інтервалу  $[t_i; t'_{i+1}]$ , що відображено формулою:

$$CF_{[t_{i+1}; t''_{i+1}]}^{cor} = \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J CF_{[t_{i+1}; t''_{i+1}]}^{fj} = - \int_{t_{i+1}}^{t''_{i+1}} of(t)dt, \quad (14)$$

де  $\int_{t_{i+1}}^{t''_{i+1}} of(t)dt$  – відтоки грошових коштів, необхідні для коригування часового інтервалу  $[t_{i+1}; t'_{i+1}]$  до  $[t_{i+1}; t''_{i+1}]$ .

Вплив ситуаційних змін тривалості часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$  на  $[t_i; t'_{i+1}]$  та компенсаційних змін  $[t_{i+1}; t'_{i+1}]$  до  $[t_{i+1}; t''_{i+1}]$  на грошові потоки розраховується за формулою:

$$CF_{[t_i; t''_{i+1}]}^{fact} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} cf(t)dt + \int_{t_{i+1}}^{t''_{i+1}} cf(t)dt + \int_{t_{i+1}}^{t'_{i+1}} cf(t)dt = \int_{t_i}^{t_{i+1}} if(t)dt + \int_{t_i}^{t'_{i+1}} of(t)dt + \int_{t'_{i+1}}^{t''_{i+1}} if(t)dt + \int_{t'_{i+1}}^{t''_{i+1}} of(t)dt, \quad (15)$$

де  $t_i$  – початок запланованого часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$ ;

$t_{i+1}$  – закінчення запланованого часового інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$ ;

$t'_{i+1}$  – закінчення часових інтервалів  $[t_i; t'_{i+1}]$  та  $[t_{i+1}; t'_{i+1}]$  після ситуаційних змін;

$t''_{i+1}$  – закінчення часових інтервалів  $[t_i; t''_{i+1}]$  та  $[t_{i+1}; t''_{i+1}]$  після компенсаційних змін.

У випадку зміни строків закінчення попереднього інтервалу  $[t_i; t_{i+1}]$  після компенсаційних змін на  $[t_i; t'_{i+1}]$  змінюються строки початку наступного інтервалу на  $[t'_{i+1}; t''_{i+1}]$ .

Загальна сума грошових коштів на протязі всього життєвого циклу проекту екологістичної системи розраховується за формулою:

$$CF_{LC}^{fact} = \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J CF_{[t_i, t_{i+1}]}^{fj} = \int_{t_i}^{t_{i-1}} if(t)dt + \int_{t_i}^{t_{i-1}} of(t)dt, \quad (16)$$

де  $\int_{t_i}^{t_{i-1}} if(t)dt$  – притоки грошових коштів, що генеруються на протязі життєвого циклу проекту;

$\int_{t_i}^{t_{i-1}} of(t)dt$  – відтоки грошових коштів, що генеруються на протязі життєвого циклу проекту.

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

*Strengths.* Сильні сторони дослідження полягають у можливості врахувати екодеструктивний вплив логістичної діяльності на довкілля завдяки зміні структури та тривалості життєвого циклу проекту екологістичної системи. До фаз, характерних для класичного уявлення про життєвий цикл проекту, саме передінвестиційної, інвестиційної та експлуатаційної додаються еколого-орієнтовані регенеративна та ревіталізаційна фази.

*Weaknesses.* Слабкою стороною дослідження є неврахування при моделюванні грошових потоків проекту екологістичної системи факту знецінення грошових коштів з часом. Отримання продукту ревіталізаційної фази може бути тривалим за часом, тому грошові кошти, потрібні для його отримання, можуть бути недооцінені на сьогоднішній момент. Неврахування цього факту може призвести до помилкової оцінки ефективності проекту.

*Opportunities.* В подальшому дослідженні перспективним напрямком є виявлення аналітичних залежностей між тривалістю етапів життєвого циклу та грошовими потоками, що отримуються.

*Threats.* Слід зазначити, що застосування запропонованого механізму моделювання грошових потоків не позбавляє проект від ризиків, викликаних змінами в запланованих значеннях тривалості окремих етапів, часових інтервалів життєвого циклу. Значні зміни часових параметрів проекту можуть призвести до надмірних витрат або недоотримання грошових коштів. Отже, не дивлячись на можливість застосування компенсаційного механізму, слід здійснювати постійний контроль часових та відвідних грошових параметрів проекту.

## 8. Висновки

1. Визначено особливості життєвого циклу проекту екологістичної системи, який відрізняється від класичного уявлення життєвого циклу проекту наявністю еколого-орієнтованих фаз. До його складу входять передінвестиційна, інвестиційна, експлуатаційна, регенеративна та ревіталізаційна фази, між якими створюються послідовні та такі, що



перекриваються, зв'язки.

2. Розроблено механізм впливу на часові параметри життєвого циклу проекту екологістичної системи, до складу якого входять окремі етапи, фази, часові інтервали. Часові параметри можуть змінюватись під ситуативним впливом внутрішньої середовища та зовнішнього оточення проекту. Досліджено два можливих варіанти визначення тривалості життєвого циклу проекту, в залежності від яких розроблено механізм формування часових параметрів. Механізмом передбачено ситуативні та компенсаційні зміни часових параметрів проекту.

3. Проведено моделювання грошових потоків на протязі життєвого циклу проекту екологістичної системи, на значення яких впливає зміна часових характеристик. Для кожного з варіантів проведено визначення потоків грошових коштів для етапів, часових інтервалів та всього життєвого циклу проекту.

### Література

1. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)* (2017). PMI, 574. Available at: [https://www.academia.edu/39145374/A\\_Guide\\_to\\_the\\_PROJECT\\_MANAGEMENT\\_BODY\\_OF\\_KNOWLEDGE\\_PMBOK\\_GUIDE\\_Sixth\\_Edition](https://www.academia.edu/39145374/A_Guide_to_the_PROJECT_MANAGEMENT_BODY_OF_KNOWLEDGE_PMBOK_GUIDE_Sixth_Edition)

2. *GOST R ISO 21500-2014. Natsionalnii standart Rossiiskoi Federatsii. Rukovodstvo po proektnomu menedzhmentu* (2014). Moscow, 60. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200118020>

3. *P2M «Program & Project Management for Enterprise Innovation»* (2016). Project Management Association of Japan. Available at: [http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m\\_guide/p2m\\_guide.html](http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html)

4. Kovtun, T. A. (2020). Frame models of the ecological system project. *Transport Development*, 6 (1), 17–29. doi: <http://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.02>

5. *Mezhdunarodnii standart ISO 14001:2004* (2004) Environmental Management Systems – Requirements with guidance for use, 30. Available at: [http://partnership.by/wp-content/uploads/2016/05/ISO\\_14001.pdf](http://partnership.by/wp-content/uploads/2016/05/ISO_14001.pdf)

6. *GOST R ISO/MEK 12207-2010. Natsionalnii standart RF. Protsessy zhiznennogo tsikla programmnykh sredstv* (2010). Moscow, 188. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-12207-2010>

7. *GOST R ISO 14044-2019. Natsionalnii standart RF. Ekologicheskii menedzhment. Otsenka zhiznennogo tsikla. Teoriia i trebovaniia* (2019). Moscow, 48. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200167821>

8. Kovtun, T. A. (2007). Metodicheskii podkhod k priniatiu upravlencheskikh reshenii po initsializatsii produktov proekta transportnogo predpriiatia. *Upravlinnia proektami ta rozvitok virobnitstva*, 2, 145–157. Available at: <http://www.pmdp.org.ua/index.php/ru/2007/2-22-2007>

9. Onischenko, S. P. (2009). Optimizatsiia obektnykh i vremennykh parametrov ekspluatatsionnoi fazy proektov razvitiia predpriatii na primere sudokhodnykh kompanii. *Metodi ta zasobi rozvitku transportnykh sistem*, 15, 70–84.

10. Bernevek, T. I. (2018). Obosnovanie obektnykh i vremennykh parametrov proektov popolneniia flota. *Visnik ONMU*, 1 (54), 175–186.

11. Onischenko, S. P., Arabadzhi, E. S. (2016). Creation of time management

methods in the planning of execution for company development programs. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (3 (28)), 7–12. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.66674>

12. Ahsan, K., Gunawan, I. (2010). Analysis of cost and schedule performance of international development projects. *International Journal of Project Management*, 28 (1), 68–78. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.03.005>

13. Herroelen, W., Leus, R. (2004). Robust and reactive project scheduling: a review and classification of procedures. *International Journal of Production Research*, 42 (8), 1599–1620. doi: <http://doi.org/10.1080/00207540310001638055>

14. Hyari, K., El-Rayes, K. (2006). Optimal Planning and Scheduling for Repetitive Construction Projects. *Journal of Management in Engineering*, 22 (1), 11–19. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)0742-597x\(2006\)22:1\(11\)](http://doi.org/10.1061/(asce)0742-597x(2006)22:1(11))

15. Chang, C. K., Jiang, H., Di, Y., Zhu, D., Ge, Y. (2008). Time-line based model for software project scheduling with genetic algorithms. *Information and Software Technology*, 50 (11), 1142–1154. doi: <http://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.03.002>

16. Artigues, C., Michelon, P., Reusser, S. (2003). Insertion techniques for static and dynamic resource-constrained project scheduling. *European Journal of Operational Research*, 149 (2), 249–267. doi: [http://doi.org/10.1016/s0377-2217\(02\)00758-0](http://doi.org/10.1016/s0377-2217(02)00758-0)

17. 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: <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.002>

18. Baradaran, S., Fatemi Ghomi, S. M. T., Mobini, M., Hashemin, S. S. (2010). A hybrid scatter search approach for resource-constrained project scheduling problem in PERT-type networks. *Advances in Engineering Software*, 41 (7-8), 966–975. doi: <http://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2010.05.010>

19. Cheng, M.-Y., Tran, D.-H. (2014). Two-Phase Differential Evolution for the Multiobjective Optimization of Time–Cost Tradeoffs in Resource-Constrained Construction Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 61 (3), 450–461. doi: <http://doi.org/10.1109/tem.2014.2327512>