

Тематичний напрям № 5
Методи оптимізації, прогнозування та підтримки прийняття рішень

УДК 004.45:[62+33+316]

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЛІКВІДНІСТЮ В СИСТЕМІ БЮДЖЕТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Дмитро Ткалич, Володимир Безкоровайний
Харківський університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Задача забезпечення необхідного рівня ліквідності та фінансової стійкості вирішується підсистемою планування та управління фінансовими ресурсами системи бюджетування підприємства [1]. Традиційні підходи фінансового менеджменту переважно ґрунтуються на детермінованій оцінці фінансового стану за системою показників, що характеризують ліквідність і фінансову стійкість підприємства [2–3]. До оцінювання та управління ліквідністю підприємства у наш час використовують два основні підходи: коефіцієнтний аналіз поточної, швидкої, абсолютної ліквідності та забезпеченості власними оборотними коштами [1]; балансування надходжень і видатків, контроль залишку грошових коштів, управління дебіторською та кредиторською заборгованістю, визначення потреби у фінансуванні та забезпечення своєчасного виконання поточних зобов’язань [4]. Обидва підходи використовують данні бухгалтерського або управлінського обліку щодо вартості оборотних активів та поточних зобов’язань. Ліквідність же тісно пов’язана обліковою вартістю активів підприємства (що не обов’язково відповідає їх поточній економічній вартості) та здатності своєчасно трансформуватися у грошові кошти. Тому, застосування цих підходів не завжди дає змогу об’єктивно оцінити реальну ліквідність підприємства. В реальних умовах економічного середовища характеристики грошових потоків зазвичай відрізнятися суттєвою динамічністю. Це обумовлює актуальність застосування методології системного підходу для моделювання процесів управління ліквідністю в системі бюджетування підприємства, що дозволить повніше враховувати взаємозв’язки між грошовими потоками, фінансовими ресурсами та управлінськими рішеннями в умовах неповної визначеності й дозволить підвищувати адаптивність управління ліквідністю підприємства.

Метою дослідження є вдосконалення процесу управління ліквідністю підприємства шляхом розроблення математичної моделі балансування поточних активів з короткостроковими зобов’язаннями за часовими термінами.

Для досягнення мети необхідним було розв’язання таких завдань:

- декомпозиція оборотних активів та поточних зобов'язань на елементи з параметрами їх стану;
- розроблення математичної модель трансформації балансової вартості активів у їх ліквідну вартість;
- розроблення математичної моделі балансування ліквідних активів і поточних зобов'язань підприємства у часовому вимірі.

Однією з найважливіших характеристик поточних активів підприємства є їх здатність до трансформації у грошові кошти. Така трансформація має послідовний характер: наприклад, товарні запаси, що знаходяться на складі, у процесі реалізації перетворюються на дебіторську заборгованість, яка після погашення покупцями трансформується у грошові кошти. Запропоновано провести декомпозицію обігових активів підприємства на окремі складові:

$$CA = \{D, Z, C\}, \quad (1)$$

де D – дебіторська заборгованість (за реалізовані товари, роботи та послуги, за розрахунками);

Z – товарні запаси;

C – грошові кошти та їх еквіваленти (готівкові та безготівкові грошові кошти, валютні цінності, еквіваленти грошових коштів).

Кожна складова поточних активів має оцінюватися з урахуванням не лише її балансової вартості, а й сукупності характеристик, які визначають можливість та строки її трансформації у грошові кошти. У зв'язку з цим дебіторську заборгованість доцільно подавати як множини елементів, кожен з яких характеризується відповідними параметрами:

$$D = \sum_{i=1}^{n} d_i, \quad d_i = \{A_i, T_i, P_i, R_i\}, \quad (2)$$

де d_i – оціночна вартість дебіторської заборгованості i-го дебітора; A_i – балансова вартість дебіторської заборгованості i-го дебітора; T_i – строк погашення дебіторської заборгованості i-го дебітора; P_i – ймовірність повного погашення дебіторської заборгованості i-го дебітора; R_i – характеристика надійності та платоспроможності i-го дебітора.

Товарні запаси також доцільно оцінювати не лише за їх балансовою вартістю, а з урахуванням номенклатури, кількості, фактичного стану та середнього строку реалізації, оскільки зазначені характеристики безпосередньо впливають на можливість і строки їх трансформації у грошові кошти:

$$Z = \sum_{i=1}^{n} z_i, \quad z_i = \{B_i, S_i, Tz_i\}, \quad (3)$$

де z_i – оціночна вартість i-го запасу, B_i – балансова вартість i-го запасу, S_i – стан та категорія i-го запасу, Tz_i – строк реалізації i-го запасу.

Товарні запаси є неоднорідною складовою поточних активів підприємства, оскільки їх балансова вартість не характеризує однозначно можливість та строки трансформації у грошові кошти. Фактична ліквідність окремого запасу залежить від його стану, готовності до реалізації, можливості використання або подальшої переробки, попиту на відповідний товар та часу, необхідного для його реалізації. Тому однакові за балансовою вартістю запаси можуть мати принципово різну ліквідність: одні можуть бути реалізовані практично без затримки, інші потребують додаткової обробки або тривалого часу для реалізації. Окремі запаси (внаслідок браку, пошкодження чи морального старіння) можуть навіть частково або повністю втратити здатність до трансформації у грошові кошти.

З урахуванням цього стан кожного елемента товарних запасів доцільно розглядати як окрему характеристику, що впливає на його ліквідну вартість. У межах запропонованої моделі можна виділити п'ять категорій стану запасів:

$$S_i \in \{S^{new}, S^{def}, S^{prod}, S^{mbp}, S^{obs}\} \quad (4)$$

де S^{new} – новий товарний запас, який перебуває у належному стані та готовий до реалізації; S^{def} – нові запаси, які через виробничий брак, пошкодження або втрату товарного вигляду не можуть бути реалізовані на звичайних умовах; S^{prod} – напівфабрикати та інші запаси, що перебувають у процесі виробництва; S^{mbp} – малоцінні та швидкозношувані предмети, які використовуються у господарській діяльності підприємства; S^{obs} – запаси, які внаслідок морального старіння, зміни технологій, втрати актуальності або зниження попиту частково чи повністю втратили свою економічну цінність.

Грошові кошти та їх еквіваленти є найбільш ліквідною складовою поточних активів. Вони можуть безпосередньо використовуватися для виконання поточних зобов’язань. Водночас навіть наявність коштів у касі або на рахунках підприємства не завжди означає їх повну доступність у необхідний момент. Фактична ліквідність цієї складової залежить від форми зберігання коштів, можливості їх оперативного використання, встановлених обмежень, а також зовнішніх ризиків, пов’язаних із функціонуванням фінансової та банківської системи.

Грошові кошти та їх еквіваленти пропонується подавати як множину елементів:

$$C \in \{c_k\}, \quad (5)$$

де C – оціночна вартість грошових коштів та їх еквівалентів; c_k – оціночна вартість окремої форми грошових коштів та їх еквівалентів.

Кожен елемент цього активу характеризується сумою, формою зберігання та рівнем доступності:

$$c_k = (A_k, F_k, K_k), \quad (6)$$

де A_k – балансова вартість грошових коштів; F_k – коефіцієнт фактичної доступності грошових коштів.

Грошові кошти та їх еквіваленти можуть бути представлені у різних формах:

$$F_k \in \{F^{cash}, F^{noncash}, F^{cur}\}, \quad (7)$$

де F^{cash} – грошові кошти у готівковій формі; $F^{noncash}$ – грошові кошти у безготівковій формі; F^{cur} – грошові кошти у іноземній валюті.

Загальну ліквідну вартість грошових коштів та їх еквівалентів можна визначити за співвідношенням:

$$A_l = \sum_{k=1}^{m} A_k K_k, \quad (8)$$

де A_l – загальна ліквідна вартість грошових коштів та їх еквівалентів; A_k – ліквідна вартість окремої форми грошових коштів, $K_k \in [0,1]$ – коефіцієнт фактичної доступності.

Коефіцієнт K_k може враховувати встановлені обмеження щодо використання коштів, можливість їх оперативного залучення для здійснення платежів та ризик втрати доступу до них. Таким чином, на відміну від традиційного підходу, за якого грошові кошти фактично враховуються за їх номінальною балансовою величиною, запропоноване представлення дає змогу визначити їх ліквідну вартість з урахуванням фактичної доступності.

Поточні зобов'язання є іншою складовою оцінювання ліквідності підприємства та характеризують обсяг його зобов'язань, які мають бути погашені протягом поточного періоду. Традиційно в процесі оцінювання ліквідності вони розглядаються як агрегована величина, що співвідноситься із загальною вартістю поточних активів. Однак однакова за балансовою вартістю сума поточних зобов'язань може створювати різне навантаження на ліквідність підприємства залежно від строків погашення, виду зобов'язання, умов розрахунків та пріоритетності платежів. Тому для поглибленого моделювання ліквідності доцільно представити поточні зобов'язання як суму окремих елементів та їх основних параметрів:

$$B = \sum_{i=1}^{n} b_i, \quad b_i \in \{V_i, T_i, F_i, P_i\}, \quad (9)$$

де B – загальна оціночна вартість поточних зобов'язань; b_i – оціночна вартість i-го зобов'язання; V_i – балансова вартість i-го зобов'язання; T_i – строк погашення вартість i-го зобов'язання; F_i – вид i-го зобов'язання; P_i – пріоритетність погашення i-го зобов'язання.

В залежності від виду поточні зобов'язання можна представити як множину:

$$F \in \{F^{sup}, F^{tax}, F^{s}, F^{c}, F^{other}\}, \quad (10)$$

де F^{sup} – зобов'язання перед постачальниками та підрядниками; F^{tax} – зобов'язання перед бюджетом за податками та іншими обов'язковими платежами; F^{s} – зобов'язання перед співробітниками; F^{c} – поточні кредитні зобов'язання; F^{other} – інші поточні зобов'язання.

Для оцінювання ліквідності важливо враховувати не лише загальну суму зобов'язань, а момент, у який відповідна сума має бути сплачена. Тому для кожного зобов'язання доцільно визначати його часову характеристику. При створенні балансової моделі доцільно також визначати сукупний обсяг зобов'язань, строк погашення яких припадає на певний часовий інтервал. Такий підхід дає змогу

перейти від статичного розгляду загальної суми поточних зобов'язань до визначення їх часової структури та зіставити потребу підприємства в ліквідних коштах із можливістю їх формування у відповідні періоди.

Крім строку погашення, для моделі доцільно враховувати пріоритетність платежу:

$$PR \in \{PR^{high}, PR^{medium}, PR^{low}\}, \quad (11)$$

де $PR^{high}, PR^{medium}, PR^{low}$ – висока, середня та низка пріоритетність виконання зобов'язань.

Такий підхід оцінки зобов'язань за кількома параметрами дає змогу врахувати, що різні зобов'язання можуть мати різний вплив на управлінські рішення щодо розподілу доступних ліквідних активів.

Проведена декомпозиція поточних активів і поточних зобов'язань дає змогу перейти від їх статичного співвідношення до дослідження ліквідності підприємства у часовому вимірі. Такий підхід є обґрунтованим, оскільки сама наявність поточних активів у певному обсязі не гарантує можливості своєчасного виконання поточних зобов'язань [5]. Фактична здатність підприємства здійснювати платежі визначається не лише обсягом активів, а й моментом, у який вони можуть бути трансформовані у грошові кошти, тоді як зобов'язання мають конкретні строки погашення. Отже, навіть за умови формального перевищення поточних активів над поточними зобов'язаннями підприємство може зіткнутися з дефіцитом ліквідності в окремому часовому періоді.

Необхідність врахування часової складової підтверджується сучасними дослідженнями управління оборотним капіталом, у яких особлива увага приділяється тривалості операційного та грошового циклів, управлінню дебіторською заборгованістю, запасами та платежами за зобов'язаннями. В умовах невизначеності проблема ускладняється тим, що строки надходження грошових коштів від дебіторів і реалізації запасів не є детермінованими, а тому фактичний обсяг доступних ліквідних ресурсів у майбутніх періодах може відрізнятися від прогнозованого. Сучасні дослідження також наголошують на необхідності поєднання прогнозування, сценарного аналізу та оптимізаційних моделей для управління оборотним капіталом в умовах невизначеності [6].

Таким чином, виникає задача визначення такого розподілу ліквідних активів у часі, за якого забезпечується максимально можлива відповідність між моментами їх доступності та строками погашення поточних зобов'язань. На відміну від традиційного коефіцієнтного підходу, у якому співвідношення активів і зобов'язань розглядається переважно на певну дату, запропонований підхід передбачає оцінювання достатності ліквідних ресурсів для виконання зобов'язань у кожному досліджуваному часовому періоді. Оптимізаційна задача полягає у визначенні такого розподілу ліквідних активів у часі, за якого сумарний дефіцит грошових коштів протягом планового періоду є мінімальним:

$$H_t = max\,(0, B_t - L_t), \quad (12)$$

де H_t – дефіцит грошових коштів у періоді t; B_t – сума поточних зобов'язань, що підлягають погашенню у періоді t; L_t – обсяг ліквідних активів, доступних для їх погашення у періоді t.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні запропонованої моделі з урахуванням нечіткого характеру параметрів, що визначають можливість і строки трансформації поточних активів у грошові кошти. Подальше дослідження передбачає розроблення багатокритеріальної моделі оптимізації часової збалансованості ліквідних активів і поточних зобов'язань з використанням засобів нечіткої та інтервальної математики [7–8]. Це дозволить не тільки мінімізувати дефіцит ліквідності, а й враховувати вартість залучення додаткових фінансових ресурсів для його покриття та можливі фінансові наслідки несвоєчасного виконання зобов'язань, зокрема штрафи та санкції.

Список використаних джерел

1. Ткалич Д. В., Безкоровайний В. В. Системологічна модель проблеми бюджетування у виробничо-збутових компаніях / Д. В. Ткалич, В. В. Безкоровайний // Біоніка інтелекту. 2026. № 2

(105). С. 113–123. DOI: https://doi.org/10.30837/bi.2026.2(105).11.

2. Гриліцька А. В., Харченко А. Ю. Вплив грошових потоків на ліквідність та платоспроможність підприємства / А. В. Гриліцька, А. Ю. Харченко // Економіка та суспільство. 2025. Вип. 72. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-133.

3. Кисельов І. А. Система показників платоспроможності та ліквідності, їх взаємозв'язок з фінансовою стійкістю / І. А. Кисельов // Економіка та суспільство. 2025. Вип. 75. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-75-41.

4. Стефанів І., Кісіль В. Методи нормалізації грошових потоків суб'єкта господарювання / І. Стефанів, В. Кісіль // Економічний аналіз. 2024. Т. 34, № 4. С. 358–364. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2024.04.358.

5. Бондаренко Л. П., Микуш П. І. Стан та проблеми ліквідності торговельних підприємств України під час війни на прикладі ТОВ «Львівпідшипник». Економіка та суспільство. 2024. Вип. 61. С. 508–515. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-133.

6. Salas-Molina F., Rodríguez-Aguilar J. A., Guillen M. A multidimensional review of the cash management problem. Financial Innovation. 2023. Vol. 9. Art. 67. DOI: 10.1186/s40854-023-00473-7.

7. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2020. No 4 (14). P. 13–20. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.013.

8. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty. Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.04.

УДК 519.876.5:577.352.3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У КЛІТИННІЙ РІДИНІ ПІД ДІЄЮ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Андрій Руденко, Віталій Мардзявко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розроблено узагальнену математичну модель перехідних електромагнітних процесів у клітинній рідині під дією імпульсного електричного поля. Модель поєднує електродинамічну, біофізичну та теплову складові й враховує взаємозв'язок електропровідності клітинного середовища, електропорації мембран та джоулевого нагріву. Для опису динаміки процесу сформовано систему нелінійних диференціальних рівнянь, у якій провідність середовища залежить від ступеня електропорації та температури. Запропоновано представлення моделі у просторі станів та еквівалентну нелінійну RLC-схему клітинної мембрани, що забезпечує можливість її чисельної реалізації в середовищі MATLAB/Simulink. За результатами моделювання досліджено часові зміни струму, ступеня електропорації та температури клітинної речовини. Встановлено пороговий характер розвитку електропорації та нестаціонарність струмового відгуку, а також показано вторинну роль джоулевого нагріву за короткочасної дії імпульсного поля.

Актуальність. Дія імпульсних електромагнітних полів на біологічні об'єкти супроводжується електропорацією клітинних мембран, зміною електропровідності клітинного середовища та джоулевим нагрівом. У роботі пропонується узагальнена самоузгоджена математична модель, що поєднує електродинамічну, біофізичну (електропораційну) та теплову складові в єдину систему рівнянь, придатну до чисельної реалізації в MATLAB/Simulink. Нижче послідовно наведено ключові співвідношення розробленої моделі та обґрунтовано їхній фізичний зміст [1].

Виклад основного матеріалу. Клітинна рідина розглядається як гетерогенний електроліт з питомою електропровідністю σ і діелектричною проникністю ε у характерних для біологічних тканин межах:

$$\sigma \approx 0{,}5 - 1{,}5 См/м$$

$$\varepsilon = 60 - 80$$