УДК 519.222:336.71

А. А. Янцевич
доктор фізико-математичних наук, професор
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
ec-science@karazin.ua
О. Ю. Сосновська
магістр з прикладної економіки
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
ec-science@karazin.ua

АНАЛІЗ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ КАПІТАЛУ КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ З УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ

У статті розглянуто динаміку поведінки банківських депозитів на підставі модельного рівняння, яке було запропоновано І. Волошиним, з урахуванням ризику відсоткових ставок, що реалізується за допомогою припущення про їх випадковий характер. Було реалізовано загальний підхід до обчислення відповідних імовірнісних характеристик, який носить, у деякому розумінні, універсальний характер.

Дослідження поведінки математичного очікування банківського депозиту з плином часу показало, що незначні випадкові відхилення від детермінованих значень не призводять до суттєвих змін порівняно з детермінованим випадком (невелика дисперсія відсоткових ставок). Однак із зростанням дисперсії з плином часу можуть спостерігатися значні відхилення, що може призводити до розбалансування банківської системи. Ці результати отримані в припущенні про статистичну незалежність відсоткових ставок.

Урахування статистичної залежності відсоткових ставок призводить до додаткового інтегрування в інтегральному представленні математичного очікування, що не впливає суттєво на чисельну реалізацію, оскільки можна застосувати стандартні наближені методи обчислення подвійних інтегралів, коли область інтегрування задається координатними прямими.

У випадку, коли в законі трьох сигм відповідний інтервал потрапляє на частину від'ємної осі, припущення про нормальність відсоткових ставок викликає сумніви, і тоді статистичний аналіз треба проводити в припущенні про логнормальний розподіл або розглянути усічений нормальний розподіл.

Зауважимо, що в статті не було отримано оцінок параметрів розподілу через відсутність достатньо повних даних про поведінку депозитів у конкретних комерційних банках, тобто не проводилася перевірка відповідних гіпотез, що може слугувати предметом подальших досліджень.

Подальший аналіз випадкової поведінки величини депозитів повинен бути пов'язаним з узагальненням ринкової моделі Рендельмана−Барттера, яка описує поведінку відсоткових ставок. Підхід, який було запропоновано у роботі, може бути корисним і у випадку, коли відсоткові ставки являють собою випадкові процеси, а у якості імовірнісних характеристик величин депозиту розглядаються математичне очікування і дисперсія, які описують суттєво нестаціонарний випадковий процес. Модель поведінки депозиту банку, яку було розглянуто у роботі, може бути використана і для знаходження усталеного режиму, коли початковий момент часу відсувається на нескінченність.

Ключові слова: модель швидкого зростання банку, відсоткова ставка за кредитами, відсоткова ставка за депозитами, власний капітал банку.

JEL classification: C10, C49, G29.

A. A. Yancevich
D. Sc. (Physics and Mathematics), Full Professor
V. N. Karazin Kharkiv National University
ec-science@karazin.ua
A. Yu. Sosnovska
Master in Applied Economics
ec-science@karazin.ua

THE ANALYSIS OF DYNAMICS MODEL OF A COMMERCIAL BANK CAPITAL IN VIEW OF THE RANDOM FACTORS

The dynamics of the behavior of bank's deposits was considered in the article based on the model equation suggested by I. Voloshin, taking into account the interest rate risk, which is being implemented by means of the assumption of their random nature. A common approach to the calculation of the corresponding probability characteristics has been implemented, which is, in a sense, a universal character.

© Янцевич А. А., Сосновська О. Ю., 2016

Investigation of the behavior of the mathematical expectation of bank's deposit with the passage of time has shown that minor random deviations from the deterministic values doesn't lead to significant changes in comparison with the deterministic case (small variance of interest rates). However, with increasing dispersion with the passage of time there may exist significant deviations that can lead to unbalance of the banking system. These results were obtained under the assumption of statistical independence interest rates.

The account of the statistical dependence of interest rates leads to further integration in the integral representation of the mathematical expectation that has no substantial effect on the numerical implementation, as the standard approximate methods of calculating double integrals are applicable when the domain of integration is specified by coordinate lines.

In case where at the law of three sigma corresponding interval falls on the negative part of the axis, the assumption of normality of the interest rates is in doubt, and then a statistical analysis must be carried out under the assumption of lognormal distribution or consider the truncated normal distribution.

It should be noted that there had not been obtained estimates of the distribution parameters in the article due to a lack of sufficient data on the behavior of deposits in a particular commercial banks, that is, it does not check the relevant hypotheses that can be the subject of further research.

Further analysis of the random behavior of the quantity of deposits must be linked to the generalization of the market model of Rendelman-Bartter, which describes the behavior of interest rates. Approach, that was proposed at this work, may be useful in the case when interest rates are stochastic processes, as well as the probability characteristics of the quantity of the deposit is considered the mathematical expectation and variance, which describe essentially non-stationary random process. The model of the bank's deposit behavior, that was considered, can be used for finding the steady state, that is when the initial time be expected to infinity.

Keywords: model of rapid growth of the bank, the interest rate on loans, the interest rate on deposits, own equity of the bank.

JEL classification: C10, C49, G29.

А. А. Янцевич
доктор физико-математических наук, профессор
Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
ec-science@karazin.ua
А. Ю. Сосновская
магистр прикладной экономики
Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
ec-science@karazin.ua

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ КАПИТАЛА КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА С УЧЁТОМ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ

В статье была рассмотрена динамика поведения банковских депозитов на основании модельного уравнения, предложенного И. Волошиным, с учётом риска процентных ставок, который реализуется при помощи предположения об их случайном характере. Был реализован общий подход к вычислению соответствующих вероятностных характеристик, который носит, в каком-то смысле, универсальный характер.

Исследование поведения математического ожидания банковского депозита с течением времени показало, что незначительные случайные отклонения от детерминированных значений не приводят к существенным изменениям по сравнению с детерминированным случаем (малая дисперсия процентных ставок). Однако с ростом дисперсии с течением времени могут наблюдаться значительные отклонения, что может приводить к разбалансировке банковской системы. Эти результаты получены в предположении о статистической независимости процентных ставок.

Учёт статистической зависимости процентных ставок приводит к дополнительному интегрированию в интегральном представлении математического ожидания, что не влияет существенно на численную реализацию, так как применимы стандартные приближенные методы вычисления двойных интегралов, когда область интегрирования задаётся координатными прямыми.

В случае, когда в законе трех сигм соответствующий интервал попадает и на часть отрицательной оси, предположение о нормальности процентных ставок вызывает сомнение, и тогда статистический анализ надо проводить в предположении о логнормальном распределении или рассмотреть усеченное нормальное распределение.

Отметим, что в статье не были получены оценки параметров распределения из-за отсутствия достаточно полных данных о поведении депозитов в конкретных коммерческих банках, то есть не осуществлялась проверка соответствующих гипотез, что может служить предметом дальнейших исследований.

Дальнейший анализ случайного поведения величины депозитов должен быть связан с обобщением рыночной модели Рендельмана−Барттера, которая описывает поведение процентных ставок. Предложенный в работе подход может быть полезным и в случае, когда процентные ставки представляют собой случайные процессы, а в качестве вероятностных характеристик величины депозита рассматривается математическое ожидание и дисперсия, которые описывают существенно нестационарный случайный процесс. Рассмотренная в работе модель поведения депозита банка может быть использована и для нахождения установившегося режима, то есть когда начальный момент времени отодвигается на бесконечность.

Ключевые слова: модель быстрого роста банка, процентная ставка по кредитам, процентная ставка по депозитам, собственный капитал банка.

JEL classification: C10, C49, G29.

Постановка проблеми.

Початковим для нас є лінійне неоднорідне рівняння першого порядку для власного капіталу банку $E(t)$:

$$\frac{dE(t)}{dt}+(a+b\xi)E(t)=f(t)+g(t)\xi+h(t)\eta \qquad (1)$$

- рівняння, що описує динаміку власного капіталу банку, де $a,b,f(t),g(t),h(t)$ такі ж, як і у роботі (Меркулова, Янцевич, 2016).

У статті запропоновано розглянути більш простий стохастичний варіант рівняння для $E(t)$, ніж в роботі (Волошин, Грищенко, 2007), тобто припускаємо, що i_L і i_D є незалежними нормальними випадковими величинами або мають рівномірний розподіл ймовірностей, отримати вираз для $ME(t)$ і дослідити залежність $ME(t)$ від відповідних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Метою роботи (Волошин, 2004) є розробка динамічної моделі швидкого зростання банку, яке забезпечується за рахунок зростання депозитів. Доцільно використати аналітичні рівняння для з'ясування основних закономірностей розвитку банку. У цій статті було запропоноване диференційне рівняння першого порядку, що описує динаміку власного капіталу банку $E(t)$. Ця модель враховує основні параметри, що впливають на результати діяльності банку: нарахування відсоткових доходів і витрат, формування резервів під кредитні витрати, амортизацію основних засобів, формування обов'язкових резервів, зростання операційних витрат зі збільшенням валюти балансу тощо.

У роботі (Меркулова, Рагуліна, 2008) з використанням розрахунків, які було приведено у (Волошин, 2004), було зроблено висновок, що найбільш суттєвий вплив на динаміку власного капіталу банку надає темп приросту депозитів. Одним з базових припущень цієї моделі є те, що динаміка депозитів виступає як екзогенна змінна, що не залежить від інших параметрів процесу. Проте швидкість депозитного потоку в певній мірі регулюється деякими інструментами банківської діяльності, серед яких одним з найбільш значних за своїм впливом є відсоткова ставка за депозитами.

У роботах (Меркулова, Янцевич, 2016) та (Меркулова, Янцевич, 2014) дається параметричний аналіз розв'язку моделі динаміки власного капіталу банку.

У роботі (Волошин, Грищенко, 2007) пропонується авторський підхід до моделювання діяльності банку, що спирається на моделі його швидкого зростання та ринкову модель Рендельмана−Барттера, а також на припущення, що i_L та i_D є геометричний броунівський рух (Hull, 1993; Wilmott, Dewynne, Howison, 1993). Це дає змогу прогнозувати показники діяльності банку, який обрав стратегію стрімкого нарощування кредитних операцій за рахунок залучення депозитів, та враховувати ринковий ризик, що неминуче виникає в процесі реалізації зазначеної стратегії.

Мета дослідження

Метою дослідження є вивчення впливу відсоткового ризику на поведінку капіталу банку у випадку, коли відсоткові ставки є випадковими величинами, а не випадковими процесами, тобто ставиться завдання про вплив невеликих випадкових відхилень відсоткових ставок від своїх середніх значень.

Основні результати дослідження

Розглянемо випадок, коли i_L та i_D – незалежні нормальні випадкові величини та відповідний інтервал в законі трьох сигм належить додатній осі. Отримаємо у цьому випадку з модельного рівняння (Волошин, 2004) математичне очікування $ME(t)$. Варто зазначити, що при знаходженні цього математичного очікування потрібна повна інформація про випадкові величини i_L та i_D, а не тільки їх математичне очікування та дисперсія.

Розв'язок рівняння (1) має вигляд:

$$E(t)=E_0e^{-(a+b\xi)t}+\int_0^t e^{-(a+b\xi)(t-s)}(f(s)+g(s)\xi+h(s)\eta)ds, \qquad (2)$$

де $a=\frac{(1-T)(1-\Omega)\gamma}{1-\Omega T}$; $b=-\frac{1-T}{1-\Omega T}$; а $\xi=i_L$ та $\eta=i_D$ – випадкові величини, $a,b,\ f\left(t\right),g\left(t\right),h\left(t\right)$ такі ж, як і у роботі (Меркулова, Янцевич, 2016).

$$ME(t)=M\left(E_0e^{-(a+b\xi)t}\right)+M\left(\int_0^t e^{-(a+b\xi)(t-s)}f(s)ds\right)+$$

$$+M\left(\int_0^t \xi e^{-(a+b\xi)(t-s)}g(s)ds\right)+M\left(\int_0^t \eta e^{-(a+b\xi)(t-s)}h(s)ds\right)$$

Після перетворень у випадку, коли ξ та η незалежні, нормальні випадкові величини одержуємо:

$$ME\left(t\right)=E_0e^{-\left(a+ba_\xi\right)t+\frac{\sigma_\xi^2\left(bt\right)^2}{2}}+\frac{A\sqrt{2\pi}}{\sigma_\xi b}e^{\alpha t-\frac{\left(a+ba_\xi+\alpha\right)^2}{2\sigma_\xi^2b^2}}\left(\Psi\left(-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)-\right.$$

$$\left.-\Psi\left(\sigma_\xi bt-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)\right)+\frac{B\sqrt{2\pi}}{\sigma_\xi b}e^{-\beta t-\frac{\left(a+ba_\xi-\beta\right)^2}{2\sigma_\xi^2b^2}}\left(\Psi\left(-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sigma_\xi b}\right)-\right.$$

$$\left.-\Psi\left(\sigma_\xi bt-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sigma_\xi b}\right)\right)-\frac{Ca_\xi\sqrt{2\pi}}{\sigma_\xi b}e^{\alpha t-\frac{\left(a+ba_\xi+\alpha\right)^2}{2\sigma_\xi^2b^2}}\left(\Psi\left(-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)-\right.$$

$$\left.-\Psi\left(\sigma_\xi bt-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)\right)+\frac{C}{b}e^{\alpha t-\frac{\left(a+ba_\xi+\alpha\right)^2}{2\sigma_\xi^2b^2}}\left(e^{\left(-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sqrt{2}\sigma_\xi b}\right)^2}-e^{\left(\frac{\sigma_\xi b}{\sqrt{2}}t-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sqrt{2}\sigma_\xi b}\right)^2}\right)+$$

$$+\frac{C\sqrt{2\pi}\left(a+ba_\xi+\alpha\right)}{\sigma_\xi b^2}e^{\alpha t-\frac{\left(a+ba_\xi+\alpha\right)^2}{2\sigma_\xi^2b^2}}\left(\Psi\left(-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)-\Psi\left(\sigma_\xi bt-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)\right)+$$

$$+\frac{Ga_\xi\sqrt{2\pi}}{\sigma_\xi b}e^{-\beta t-\frac{\left(a+ba_\xi-\beta\right)^2}{2\sigma_\xi^2b^2}}\left(\Psi\left(-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sigma_\xi b}\right)-\Psi\left(\sigma_\xi bt-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sigma_\xi b}\right)\right)-$$

$$-\frac{G}{b}e^{-\beta t-\frac{\left(a+ba_\xi-\beta\right)^2}{2\sigma_\xi^2 b^2}}\left(e^{\left(-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sqrt{2}\sigma_\xi b}\right)^2}-e^{\left(\frac{\sigma_\xi b}{\sqrt{2}}t-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sqrt{2}\sigma_\xi b}\right)^2}\right)-\frac{G\sqrt{2\pi}\left(a+ba_\xi-\beta\right)}{\sigma_\xi b^2}e^{-\beta t-\frac{\left(a+ba_\xi-\beta\right)^2}{2\sigma_\xi^2 b^2}}\cdot$$

$$\cdot\left(\Psi\left(-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sigma_\xi b}\right)-\Psi\left(\sigma_\xi bt-\frac{a+ba_\xi-\beta}{\sigma_\xi b}\right)+\frac{Fa_\eta\sqrt{2\pi}}{\sigma_\xi b}e^{\alpha t-\frac{\left(a+ba_\xi+\alpha\right)^2}{2\sigma_\xi^2 b^2}}\left(\Psi\left(-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\Psi\left(\sigma_\xi bt-\frac{a+ba_\xi+\alpha}{\sigma_\xi b}\right)\right)\right), \qquad (3)$$

де $\Psi\left(z\right)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^z e^{\frac{u^2}{2}}du$.

Вигляд (3) для $ME(t)$ достатньо громіздкий, але приведено повністю, так як це потрібно для подальших чисельних розрахунків.

Розглянемо значення $ME(t)$ та дослідимо залежність $ME(t)$ від відповідних параметрів і величини σ^2 − дисперсії у випадку, коли i_L та i_D − нормально розподілені випадкові величини, використовуючи статистичні дані показників діяльності банків України (Основні показники діяльності банків України на 1 березня 2015 року, 2015; Основні показники діяльності банків України на 1 квітня 2015 року, 2015).

Таблиця 1

Значення параметрів для розрахунків

α	β	γ	Ω	g	T	i_L	i_D
0.07	0.063	0.06	0.11	0.07	0.25	0.25	0.203

Джерело: складено авторами на основі (Меркулова, Янцевич, 2016)

Таблиця 2

Значення параметрів для розрахунків

E	D0	FA0	a	b	A	B	C	G	F
1	6	0.5	0.041183	-0.77121	0.280231	0.024293	4.303342	0.385604	4.118252

Джерело: складено авторами на основі (Меркулова, Янцевич, 2016) та власних розрахунків

Тип динаміки: спадання-зростання-спадання.

Чисельні значення розв'язку рівняння (1), що описує модель динаміки власного капіталу банку, наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Значення $E(t)$

E(t)	0.992166	0.987493	0.985791	0.986849	0.99043	0.996265	1.004042	1.013399	1.02391	1.035073
	1.046295	1.056872	1.065971	1.072601	1.075585	1.073531	1.064786	1.047393	1.019036	0.97698

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

1) Розглянемо перший випадок, коли $\sigma^2=0$. У цьому випадку вирази $E(t)$ і $ME(t)$ повністю співпадають.

Побудуємо графік залежності $E(t)$ і $ME(t)$ від t .

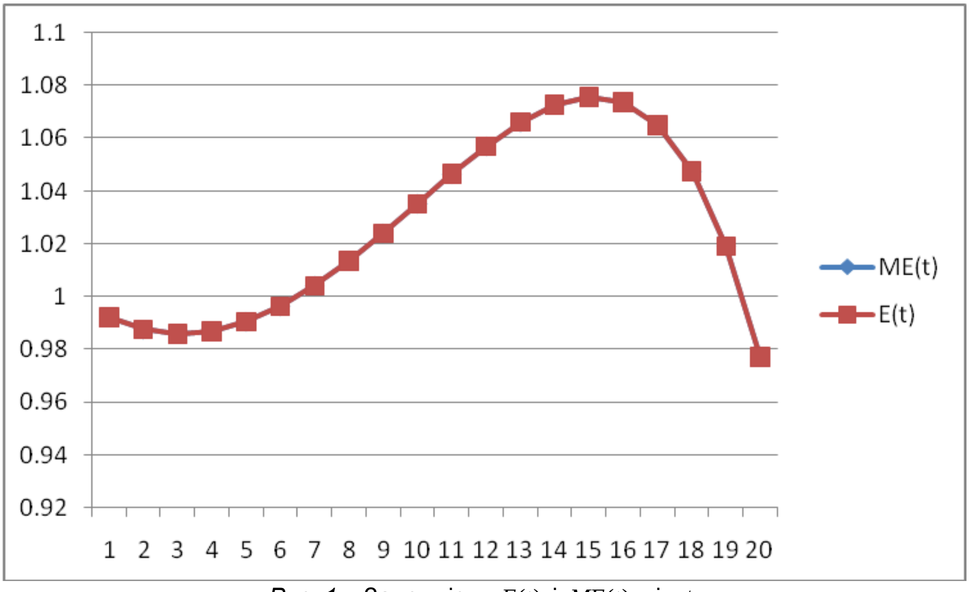

Рис. 1 – Залежність $E(t)$ і $ME(t)$ від t

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

Як ми можемо бачити на рисунку, графіки $E(t)$ і $ME(t)$ співпадають.

2) $\sigma^2 = 0,00001$.

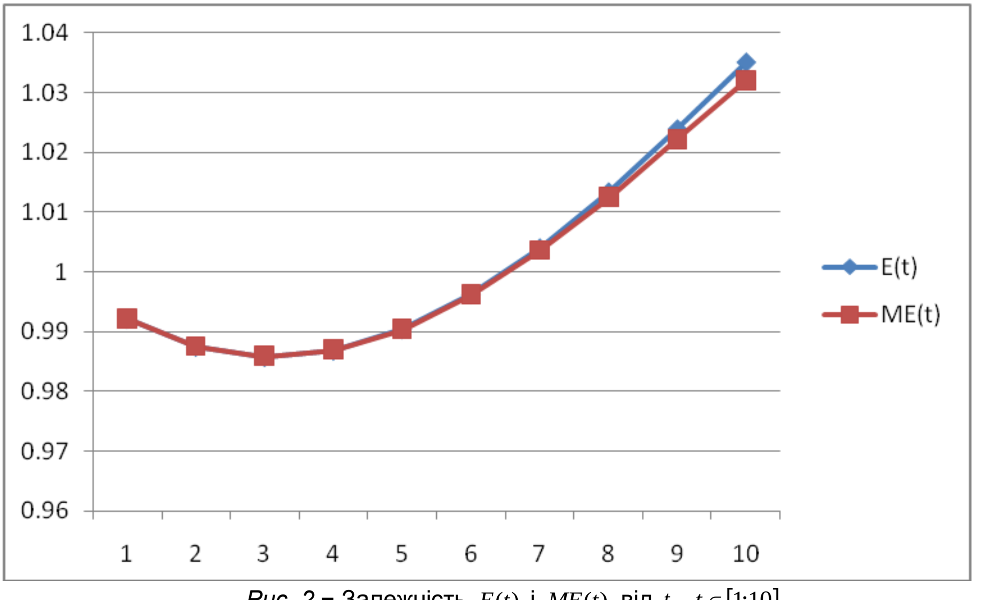

Рис. 2 − Залежність $E(t)$ і $ME(t)$ від t, $t \in [1;10]$

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

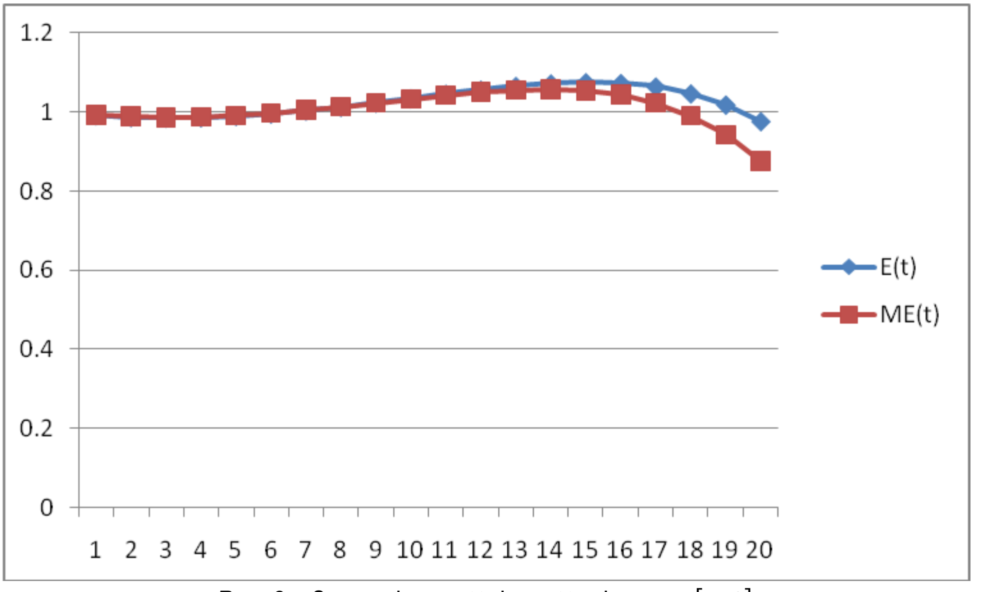

Рис. 3 − Залежність $E(t)$ і $ME(t)$ від t, $t \in [1;20]$

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

На графіку видно, що спочатку значення $E(t)$ і $ME(t)$ будуть практично співпадати, а з плином часу починають несуттєво розходитися, що є наслідком маленького значення σ.

Розглянемо ще декілька варіантів зміни значення $ME(t)$ за рахунок зміни величини σ^2.

3) $\sigma^2 = 0,0001$

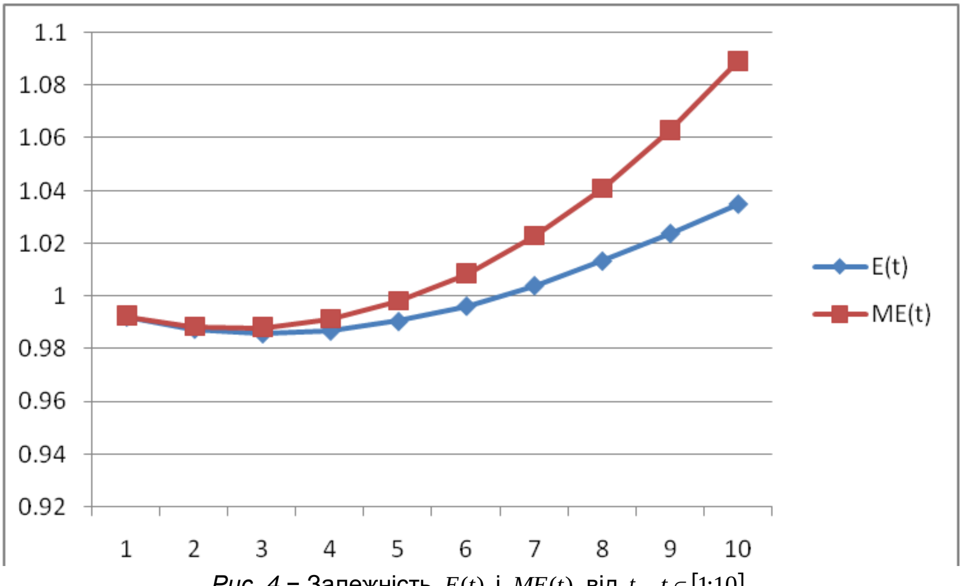

Рис. 4 − Залежність $E(t)$ і $ME(t)$ від t, $t \in [1;10]$

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

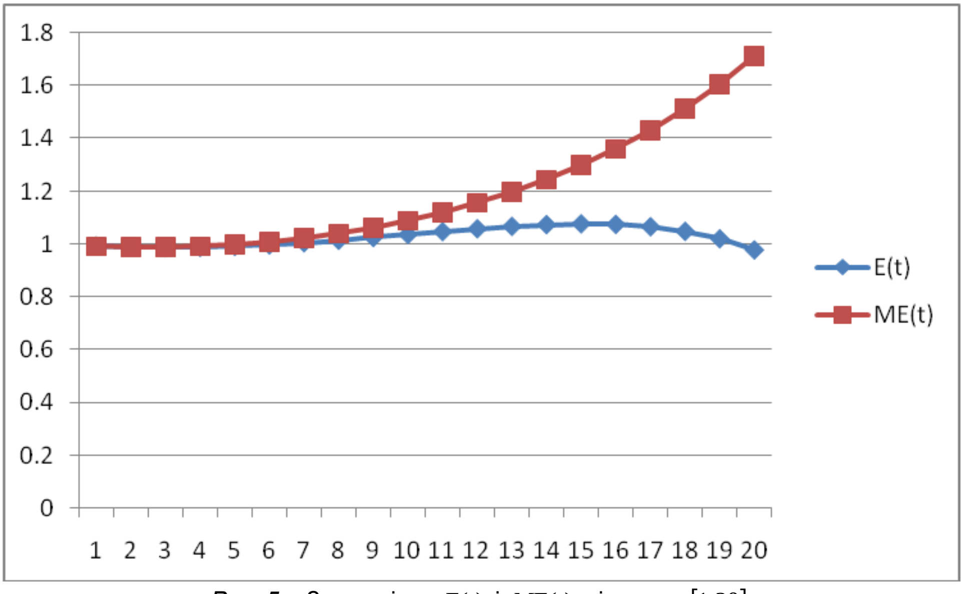

Рис. 5 – Залежність $E(t)$ і $ME(t)$ від t, $t \in [1;20]$

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

Можна побачити, що графіки функцій $E(t)$ і $ME(t)$ при маленьких значеннях часу розбігаються, але дуже несуттєво, але з плином часу графік $E(t)$ буде спадати, а графік $ME(t)$ – постійно зростаючий.

4) $\sigma^2 = 0,001$

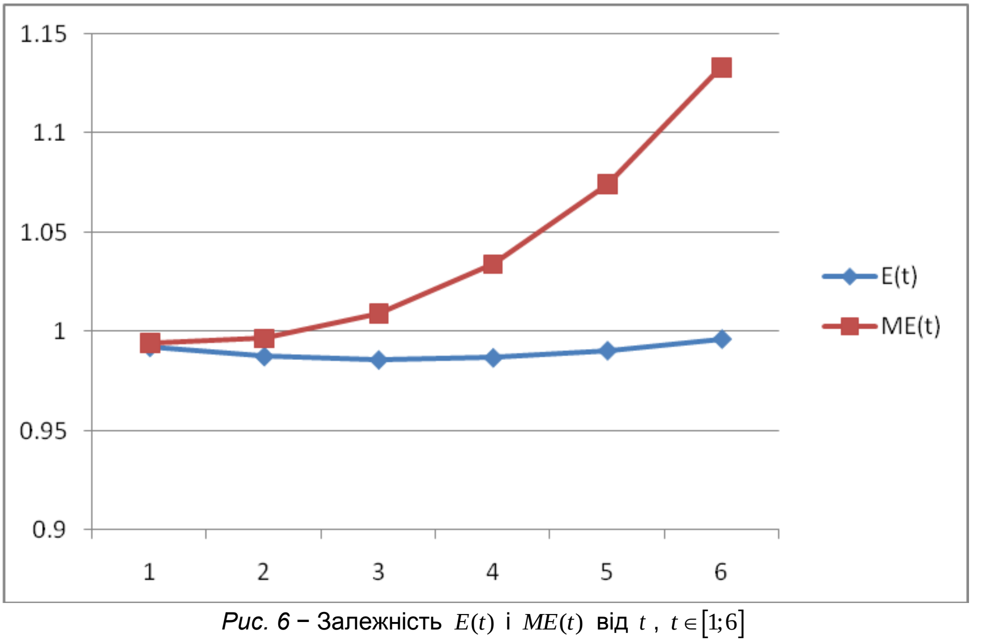

Рис. 6 – Залежність $E(t)$ і $ME(t)$ від t, $t \in [1;6]$

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

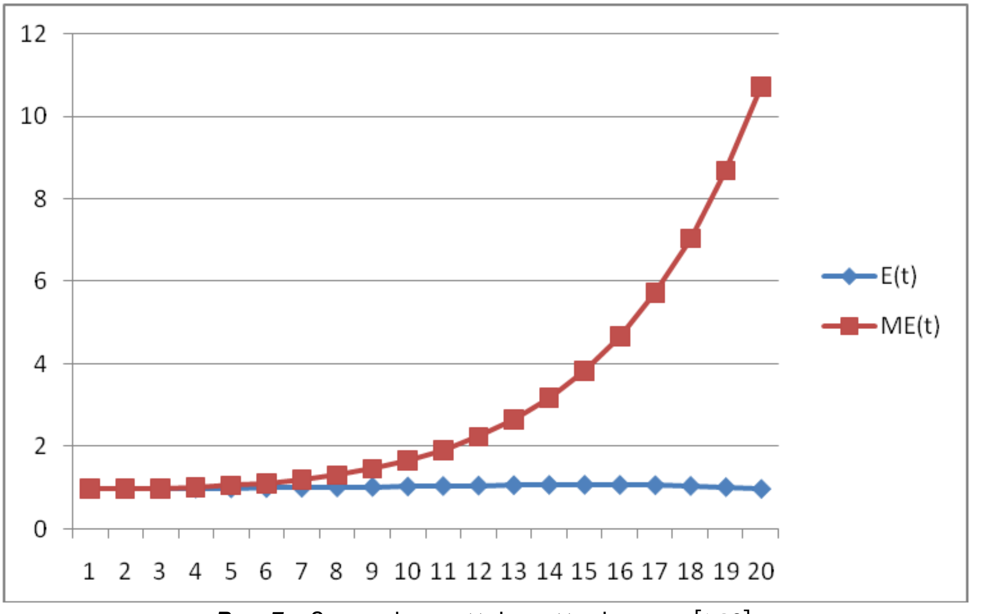

Рис. 7 – Залежність $E(t)$ і $ME(t)$ від t, $t \in [1;20]$

Джерело: складено авторами на основі власних розрахунків

У цьому випадку можна побачити вже більш суттєве розходження графіків функцій $E(t)$ і $ME(t)$, на відміну від попереднього. Це відбувається через збільшення величини σ. Графік $ME(t)$ буде дуже стрімко зростати у той час, коли $E(t)$ з плином часу стає спадаючим.

Висновки

У статті було розглянуто модель еволюції депозитів банку з урахуванням випадкового характеру зміни відсоткових ставок за кредитами та депозитами. Виходячи з розв'язку еволюційної моделі депозитів, отримано рівняння для математичного очікування власного капіталу банку. У випадку, коли ці ставки є незалежними, нормально розподіленими випадковими величинами, за умови достатньо невеликих дисперсій було проведено чисельний аналіз отриманого виразу, котрий показав, що середнє значення депозиту в цілому таке ж, як і у детермінованому випадку, однак із плином часу спостерігаються розбіжності в характері зміни депозитів у порівнянні з детермінованим випадком.

Література

1. Меркулова Т. В. Модель динамики собственного капитала банка: анализ условий и ограничений роста [Текст] / Т. В. Меркулова, А. А. Янцевич // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 6. – С. 405–418.

2. Волошин І. Моделювання швидкого зростання банку із симуляцією процентного ризику методом Монте-Карло / І. Волошин, А. Гриценко // Вісник Національного банку України. – 2007. – №1. – С. 32-35.

3. Волошин І. Модель швидкого зростання банку /І. Волошин // Банківська справа. – 2004. – №5-6. – С.24-30.

4. Меркулова Т. В. Моделирование динамики финансовых показателей банка / Т.В. Меркулова, А. Н. Рагулина // Сучасні та перспективні методи і моделі управління в економіці монографія: у 2 ч. – Суми : ДВНЗ «УАБС НБУ», 2008. – Ч.1. – С. 93 – 102.

5. Меркулова Т. В. Энтропийный подход в анализе распределения доходов в обществе Т. В. Меркулова, А. А. Янцевич // Економіка: реалії часу / Науковий журнал. – 2014. – № 4 (14). – С. 5-10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://economics.opu.ua/files/archive/2014/No4/5-10.pdf

6. John Hull. Options, Futures and other Derivative Secucities // Prentice-Hall. Inc. – 1993. – 492 p.

7. Paul Wilmott, Jeff Dewynne, Sam Howison. Option Prising // Oxford Financial Press. – 1993. – 433 p.

8. Основні показники діяльності банків України на 1 березня 2015 року // Вісник Національного банку України. – 2015. – №4. – С. 46. [Електроний ресурс]. – Режим доступу : http://www.bank.gov.ua/doccatalog/document?id=16157782.

9. Основні показники діяльності банків України на 1 квітня 2015 року // Вісник Національного банку України. – 2015. – №5. – С. 74. [Електроний ресурс]. – Режим доступу : http://www.bank.gov.ua/doccatalog/document?id=17795590.

10. Егорова Н. Е. Математические методы финансового анализа банковской деятельности / Н. Е. Егорова, А. М. Смулов // Аудит и финансовый анализ. – 1998. – №2. – С. 75-146.

11. Царьков В. А. Применение кибернетических моделей для стратегического управления банком / В. А. Царьков // Аудит и финансовый анализ. – 2009. – №1. – С. 1-7.

12. Тихонов А. Н. Дифференциальные уравнения /А. Н. Тихонов, А. В. Васильев, А. В. Свешников.− М.: Наука, 1980. – 230 с.

13. Осипенко Д. В. Динамічна модель комерційного банку / Д. В. Осипенко // Фінанси України. – 2005. – №11. – С. 87-92.

14. Азаренкова Г. М. Моделі та методи аналізу фінансових потоків / Г. М. Азаренкова // Харків : Гриф, 2005. – 119 с.

15. Березин И. С. Методы вычислений / И. С. Березин, Н. П. Жидков. − М.: Наука, 1966. − Т.1. – 632 с.

References

1. Merkulova, T., & Yancevich, A. Dynamic model of bank equity capital: analyses of growth conditions and restraints. Actual problems of economics. 2016. № 6, 405–418 pp. (In Russian)

2. Voloshin, I., & Grischenko, A. (2007). Modeling of rapid growth of the bank interest rate risk simulation by Monte-Carlo. Messenger of National bank of Ukraine, 1, 32-35. (In Ukrainian)

3. Voloshin, I. (2004). Model of rapid growth of the bank. Banking, 5-6, 24-30. (In Ukrainian)

4. Merkulova, T., & Ragulina, A. (2008). Modeling the dynamics of financial indicators of the bank. Modern and advanced methods and models of the economy. 93-102. Sumy. (In Ukrainian)

5. Merkulova, T., & Yancevich, A. (2014). Entropy approach to the analysis of income distribution in a society. Economy: realities of time, 4(14), 5-10. Retrieved from http://economics.opu.ua/files/archive/2014/No4/5-10.pdf. (In Russian)

6. Hull, J. (1993). Options, Futures and other Derivative Secucities. Prentice-Hall. Inc.

7. Wilmott, P., Dewynne, J., & Howison S. (1993) Option Prising. Oxford Financial Press.

8. Main indicators of banks in Ukraine on March 1, 2015. (2015, April). Messenger of National bank of Ukraine, 4, 46. Retrieved from http://www.bank.gov.ua/doccatalog/document?id=16157782.

9. Main indicators of banks in Ukraine on April 1, 2015. (2015, May). Messenger of National bank of Ukraine, 5, 74. Retrieved from http://www.bank.gov.ua/doccatalog/document?id=17795590.

10. Yegorova, N., & Smulov, A. (1998) Mathematical methods for financial analysis of banking activities. Audit and Financial Analysis, 2, 75-146. (In Russian)

11. Tsarkov, V. (2009). Application of cybernetic models for the strategic management of the bank. Audit and Financial Analysis, 1, 1-7. (In Russian)

12. Tykhonov, A., Vasylev, A., & Sveshnikov. (1980). Differential equations. Moscow: Science. (In Russian)

13. Osypenko, D. (2005). The dynamic model of the commercial bank. Finances of Ukraine, 11, 87-92. (In Ukrainian)

14. Azarenkova, H. (2005). Models and methods of analysis of financial flows. (In Ukrainian)

15. Berezyn, I., & Zhydkov, N. (1996). Computing methods. Moscow: Science. (In Russian)