

Applied problems of information systems operation

УДК 519.668:319.66

doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.17>В. Ю. Дубницький¹, А. М. Кобилін¹, О. А. Кобилін²¹ ННІ “Каразінський банківський інститут” ХНУ імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ВИКОНАННЯ НА МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ АКсіОМ КЛАСИЧНОГО ТА НЕСТАНДАРТНОГО ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Анотація. Мета роботи. Розробка програмного забезпечення для виконання на мобільних пристроях арифметичних операцій розрахунків з використанням аксіом класичного та нестандартного інтервального аналізу та порівняння їх ефективності. **Результати.** Виконано порівняння результатів виконання арифметичних операцій з використанням аксіом класичного та нестандартного інтервального аналізу. Критерієм ефективності обрано величину відносної зміни заключного інтервалу результатів обчислень, виконаних з використанням аксіом нестандартного інтервального аналізу по відношенню до аналогічних обчислень, виконаних з використанням аксіом класичного інтервального аналізу. Для порівняння ефективності обрано нормативні показники, які визначають фінансову безпеку банків. Наведено відомості про особливості програмної системи оперативної оцінки ефективності банківських валютних операцій, призначеної для мобільних пристроїв на операційній системі ANDROID. Результати розрахунків показали, що інтервали, визначені згідно з правилами нестандартної інтервальної математики мають величину інтервалу на 12%–90% менше, ніж обчислення, виконані згідно з вимогами класичної інтервальної математики.

Ключові слова: мобільні пристрої; спеціалізовані програмні калькулятори; інтервальный аналіз; фінансова безпека банків.

Вступ

В умовах мінливого зовнішнього економічного середовища та неперервної зміни внутрішнього стану будь якої організаційної системи особливої актуальності набувають питання, пов'язані з розрахунками показників її економічної безпеки. В процесі розрахунку показників, наприклад, показників фінансового стану банку, виникають дві ситуації. В першому випадку треба визначити ці показники в умовах повної поінформованості про їх значення. В другому випадку, наприклад, при прогнозуванні майбутнього стану банку, відомі лише їх інтервальні значення [1]. Тому в призначених для цього програмних системах необхідно передбачити використання розрахунків з використанням аксіом «звичайної», евклідової арифметики та інтервальної арифметики [2]. Для реалізації такої системи в якості додатку до мобільних пристроїв були створені спеціалізовані програмні калькулятори [3-5].

Аналіз літератури. Інтервальный аналіз як науковий напрямок сформувався відносно недавно. Арифметичні дії з інтервальними числами виконують згідно з правилами класичної інтервальної арифметики, які викладено в роботах [6-8]:

$$A + B = [\underline{a}; \bar{a}] + [\underline{b}; \bar{b}] = [\underline{a} + \underline{b}; \bar{a} + \bar{b}]; \quad (1)$$

$$A - B = [\underline{a}; \bar{a}] - [\underline{b}; \bar{b}] = [\underline{a} - \bar{b}; \bar{a} - \underline{b}]; \quad (2)$$

$$A * B = [\underline{a}; \bar{a}] * [\underline{b}; \bar{b}] = \left[\begin{array}{l} \min \{ \underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \bar{b}, \bar{a} \cdot \underline{b}, \bar{a} \cdot \bar{b} \}, \\ \max \{ \underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \bar{b}, \bar{a} \cdot \underline{b}, \bar{a} \cdot \bar{b} \} \end{array} \right]; \quad (3)$$

$$A / B = [\underline{a}; \bar{a}] / [\underline{b}; \bar{b}] = [\underline{a}; \bar{a}] * [1/\bar{b}, 1/\underline{b}]; \quad 0 \notin b. \quad (4)$$

Корисно виписати визначення операції інтервального множення у вигляді так званої таблиці Келлі, табл. 1 [9, 10, 13], яка надає можливість подання результату операції в залежності від різних комбінацій значень операндів. Для цього виділимо в IR такі підмножини:

$$P = \{ a \in IR \mid (\underline{a} \geq 0) \& (\bar{a} \geq 0) \} - \quad (5)$$

невід'ємні інтервали;

$$Z = \{ a \in IR \mid (\underline{a} \leq 0) \& (\bar{a} \geq 0) \} - \quad (6)$$

інтервали, які містять нуль;

$$-P = \{ a \in IR \mid -a \in P \} - \quad (7)$$

неодатні інтервали.

Таблиця 1 – Таблиця Келлі для операції інтервального множення

	$b \in P$	$b \in P$	$b \in -P$
$a \in P$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$
$a \in Z$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$\left[\begin{array}{l} \min \{ \underline{ab}, \bar{ab} \}, \\ \max \{ \underline{ab}, \bar{ab} \} \end{array} \right]$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$
$a \in -P$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$

В цілому $IR = P \cup Z \cup (-P)$. Тоді операцію інтервального множення можна визначити згідно з

табл. 1. Множення інтервального числа на сталу величину виконують згідно з виразом:

$$\mu \cdot a = \begin{cases} [\mu \cdot \underline{a}, \mu \cdot \bar{a}], & \text{якщо } \mu \geq 0; \\ [\mu \cdot \bar{a}, \mu \cdot \underline{a}], & \text{якщо } \mu < 0. \end{cases} \quad (8)$$

Розширення класичної інтервальної арифметики може бути виконано використовуючи методи абстрактної алгебри. В роботі [11] показано, що з більш загальної точки зору арифметика IR є комутативною напівгрупою відносно складання та множення. Відомо, що всяка комутативна напівгрупа для якої справедливий так званий закон скорочення може бути вкладена в групу (або, що еквівалентно, розширена до групи), в якій кожний елемент має обернений. Інтервальна арифметика IR є комутативною напівгрупою, що задовольняє закону скорочення щодо додавання, а відносно множення утворює напівгрупу із законом скорочення, тобто утворюють всі інтервали, що не містять нуля [11].

Всі технічні конструкції, необхідні для такого узгодженого розширення інтервальних напівгруп до додавання і множення були реалізовані Э. Каухером ще в 70-і роки XX століття. У роботах [10, 11, 12] він побудував систему алгебри, яку ми позначатимемо KR , що включає класичну інтервальну арифметику IR як власну підмножину. Вона цілком задовольняє нашим вимогам, оскільки є групою по додаванню і майже групою по множенню. Крім того, в IR без яких-небудь обмежень можливі операції що до визначення нижньої і верхньої граней, щодо впорядкування інтервалів по включенню, тобто KR має кращі порівняно з класичною арифметикою IR порядкові властивості. Ще однією властивістю повної інтервальної арифметики Каухера є те, що саме вона є мінімаксною інтервальною арифметикою, в якій обчислення мінімаксів може бути здійснене на рівні додавання, віднімання, множення і ділення.

Елементами повної інтервальної арифметики KR є пари дійсних чисел $[\eta, \vartheta]$, не обов'язково зв'язаних співвідношенням $\eta \leq \vartheta$. Таким чином, KR отримують приєднанням неправильних інтервалів $[\eta, \vartheta]$, $\eta > \vartheta$, до множини $IR = \{[\eta, \vartheta], \eta, \vartheta \in \mathbb{R}, \eta \leq \vartheta\}$ правильних інтервалів і дійсних чисел (які отожднюють з виродженими інтервалами нульової ширини). Елементи арифметики Каухера і утворювані з них складніші об'єкти (вектори, матриці) ми виділятимемо жирним шрифтом, як і звичайні інтервали. При цьому, якщо $a = [\eta, \vartheta]$, то η називають лівим (або нижнім) кінцем інтервалу \underline{a} або $\inf a$, а ϑ називається правим (або верхнім) кінцем інтервалу \bar{a} і позначають символом \bar{a} або $\sup a$. Інтервал a назвемо врівноваженим, якщо $\underline{a} = -\bar{a}$.

Визначення 1. Абсолютною величиною (модулем) інтервалу a називають величину

$$|a| = \max\{|\underline{a}|, |\bar{a}|\} \quad (9)$$

Інтервал a називають дуальним, якщо дві грані KR , міняються місцями в результаті відобра-

ження дуалізації $\text{dual} : KR \rightarrow KR$, що міняє місцями (що перевертає) кінці інтервалу, тобто такого що

$$\text{dual } a = [|\underline{a}|, |\bar{a}|] \quad (10)$$

Правильною проекцією інтервалу називають величину:

$$\text{pro } a = \begin{cases} a, & \text{якщо } a \text{ - правильна проекція;} \\ \text{dual } a, & \text{якщо навпаки.} \end{cases} \quad (11)$$

Аналогічно класичній інтервальній арифметиці IR відношення включення одного інтервалу в іншій визначається в KR таким чином:

$$a \subseteq b \Leftrightarrow (a \geq b) \& (\bar{a} \leq \bar{b}). \quad (12)$$

Крім теоретико-множинного включення на множині інтервалів KR існує ще одне часткове впорядкування, яке узагальнює лінійний порядок на дійсній осі.

Визначення 2. Для інтервалів $a, b \in KR$ умовимося вважати, що a не перевершує b і писати $a \leq b$ тоді і тільки тоді, коли $\bar{a} \leq \bar{b}$ і $\underline{a} \leq \underline{b}$. Інтервал називається невід'ємним, якщо невід'ємні обидва його кінця. Інтервал називається недодатним, тобто « ≤ 0 », якщо недодатні обидва його кінця.

Додавання визначається в KR абсолютноно так само, як в класичній інтервальній арифметиці:

$$a + b = [\underline{a} + \underline{b}, \bar{a} + \bar{b}]. \quad (13)$$

Але тепер з факту існування неправильних інтервалів виходить те, що кожен елемент a з KR має єдиний обернений по додаванню (протилежний) елемент, такий, що позначається через $\text{opp } a$, і з рівності $a + \text{opp } a = 0$ слідує:

$$\text{opp } a := [-\underline{a}, \bar{a}]. \quad (14)$$

Таким чином, щодо складання арифметики KR є комутативною групою, яка ізоморфна адитивній групі стандартного лінійного простору \mathbb{R}^2 . Скорочено ми позначатимемо операцію, обернену додаванню, так зване внутрішнє (алгебраїчне) віднімання в KR , символом \oplus , так, що

$$a \oplus b = a + \text{opp } b = [\underline{a} - \underline{b}, \bar{a} - \bar{b}]. \quad (15)$$

Для того, щоб вписати явні формули для додавання в повній інтервальній арифметиці, виділимо в KR наступні підмножини:

$$P := \{a \in KR \mid (\underline{a} \geq 0) \& (\bar{a} \geq 0)\} - \quad (16)$$

невід'ємні інтервали;

$$Z := \{a \in KR \mid \underline{a} \leq 0 \leq \bar{a}\} - \quad (17)$$

нуль-інтервали;

$$-P := \{a \in KR \mid -a \in P\} - \quad (18)$$

недодатні інтервали;

$$\text{dual } ZP := \{a \in KR \mid \text{dual } a \in Z\} - \quad (19)$$

інтервали, що містять нулі.

В цілому $KR = P \cup Z \cup (-P) \cup (\text{dual } Z)$. Тоді множення в інтервальній арифметиці Каухера може бути визначено табл. 2, яку отримують доповненням табл. 1 ще одним рядком і ще одним стовпцем, відповідному випадку операндів з множини $\text{dual } Z$.

Операція множення в арифметиці Каухера допускає існування нетривіальних дільників нуля. Інтервальне множення в арифметиці Каухера є комутативним і асоціативним [10-12], але групу по множенню в KR утворюють лише інтервали a , для яких $\underline{a} \bar{a} > 0$, оскільки закон скорочення не виконується ні на якій більш ширшій підмножині. В табл. 2 наведено таблицю Келі для операції множення в інтервальній арифметиці Каухера.

Таблиця 2 - Таблиця Келі для операції множення в інтервальній арифметиці Каухера

	$b \in P$	$b \in P$	$b \in -P$	$b \in \text{dual } Z$
$a \in P$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\bar{ab}, \underline{ab}]$	$[\bar{ab}, \underline{ab}]$	$[\bar{ab}, \underline{ab}]$
$a \in Z$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\min\{\bar{ab}, \underline{ab}\}, \max\{\underline{ab}, \bar{ab}\}]$	$[\bar{ab}, \underline{ab}]$	0
$a \in -P$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	$[\bar{ab}, \underline{ab}]$	\bar{ab}, \underline{ab}
$a \in \text{dual } Z$	$[\underline{ab}, \bar{ab}]$	0	$[\bar{ab}, \underline{ab}]$	$[\max\{\bar{ab}, \underline{ab}\}, \min\{\bar{ab}, \underline{ab}\}]$

Розглянуті методи інтервального аналізу надають можливість для розв'язання багатьох задач, але загальний недолік цих методів – широкі інтервальні оцінки результату, що іноді непридатне не тільки для проведення практичних розрахунків, але і для подальшого аналізу.

В роботах [9, 13] приведена структура, яка отримала назву системи правил нестандартної інтервальної математики. Позначимо

$$M = (I(R), +, -, \times, /, +^-, -^-, \times^-, /^-),$$

де $I(R) = \left\{ [a^+, a^-] \mid a^- \leq a^+; a^-, a^+ \in R \right\}$ – множина дійсних інтервалів; $(+, -, \times, /)$ і $(+^-, -^-, \times^-, /^-)$ – стандартні і нестандартні інтервальні операції складання, віднімання, множення і ділення відповідно дійсним інтервалам $A = [a^-, a^+]$; $B = [b^-, b^+]$.

Для програмної реалізації представимо значення інтервальних чисел A і B в формі центр-радіус:

$$A = \langle a, r_a \rangle; \quad B = \langle b, r_b \rangle,$$

$$\text{де } a = \frac{a^+ + a^-}{2}; r_a = \frac{a^+ - a^-}{2}; b = \frac{b^+ + b^-}{2}; r_b = \frac{b^+ - b^-}{2} \quad (20)$$

центри і радіуси відповідно інтервалів A і B .

Нестандартна інтервально-арифметична операція додавання визначається так:

$$A +^- B = \langle a + b, |r_a - r_b| \rangle. \quad (21)$$

Нестандартна інтервально-арифметична операція добутку визначається так:

$$A \times^- B = \langle ab - \text{sign}(ab)r_a r_b, |ar_b - \text{sign}(ab)br_a| \rangle, \quad (22)$$

якщо $|b|/r_b \geq 1; |a|/r_a \geq 1;$ (23)

$$A \times^- B = \langle ab - \text{sign}(b)ar_b, |br_a - \text{sign}(b)r_a r_b| \rangle, \quad (24)$$

якщо $|a|/r_a < 1; |a|/r_a < |b|/r_b;$ (25)

$$A \times^- B = \langle ab - \text{sign}(a)br_b, |ar_a - \text{sign}(a)r_a r_b| \rangle, \quad (26)$$

якщо $|b|/r_b < 1; |a|/r_a \geq 1$ (27)

Нестандартна інтервально-арифметична операція ділення визначається так:

$$A /^- B = \frac{\langle ab - \text{sign}(ab)r_a r_b, |ar_b - \text{sign}(ab)br_a| \rangle}{b^2 - r_b^2}, \quad (28)$$

якщо $|b|/r_b > 1; |a|/r_a \geq 1;$ (29)

$$A /^- B = \frac{\langle ab - \text{sign}(b)ar_b, |br_a - \text{sign}(b)r_a r_b| \rangle}{b^2 - r_b^2}, \quad (30)$$

якщо $|b|/r_b > 1; |a|/r_a < 1;$ (31)

$$A /^- B = \frac{\langle ab - \text{sign}(a)br_a, |ar_b - \text{sign}(a)r_a r_b| \rangle}{b^2 - r_b^2}, \quad (32)$$

якщо $|b|/r_b < 1; |a|/r_a < 1.$ (33)

Постановка задачі. Розробка програмного забезпечення для виконання на мобільних пристроях арифметичних операцій розрахунків з з використанням аксіом класичного та нестандартного інтервального аналізу та порівняння їх ефективності.

Отримані результати

Визначимо ширину інтервалу в якому знаходиться результат обчислень у вигляді:

$$\Delta A = [\bar{a} - a]. \quad (34)$$

Середину інтервалу визначимо у вигляді:

$$m(A) = [\bar{a} + a]/2. \quad (35)$$

Точність інтервалу, визначеного класичним інтервальним аналізом визначимо виразом:

$$\varepsilon = \Delta A / m(a). \quad (36)$$

Точність інтервалу, визначеного нестандартним інтервальним аналізом визначимо виразом:

$$\xi = r_a / a. \quad (37)$$

Ефективність запропонованого методу визначимо виразом:

$$ef = \frac{\varepsilon - \xi}{\varepsilon} \cdot 100 \%. \quad (38)$$

На рис. 1 наведено результати операції додавання, виконаної з використанням різних систем аксіом.

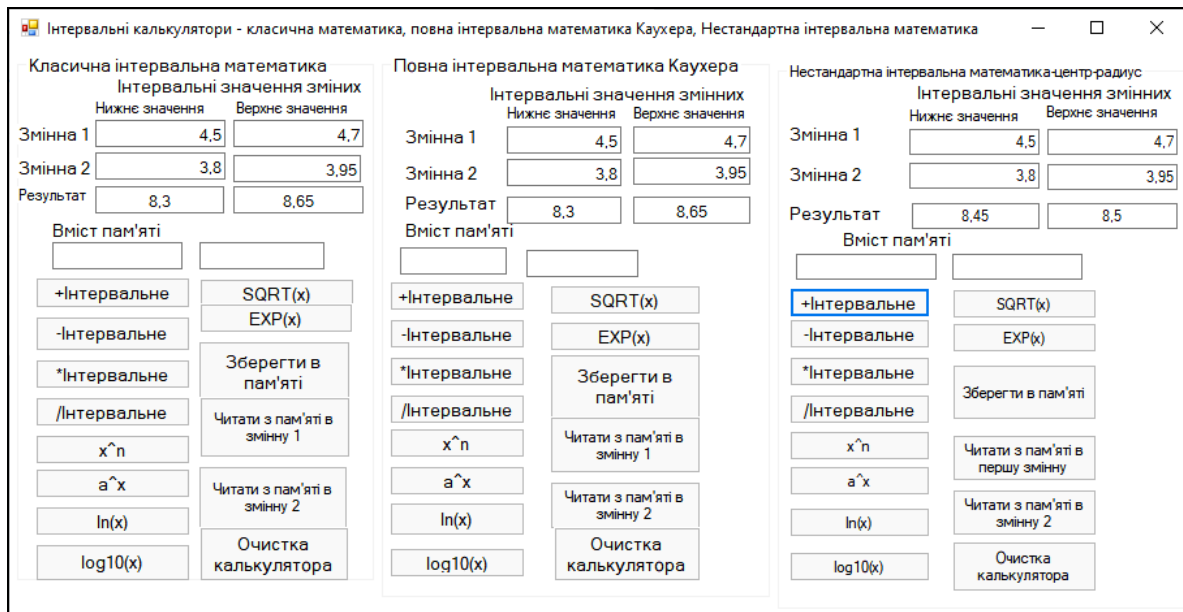


Рис. 1. Порівняльний аналіз арифметичних операцій переліченими методами інтервальної математики
(Fig. 1. Comparative analysis of arithmetic operations by the listed methods of interval mathematics)

Дійсно, при використанні методів нестандартного аналізу скоротився з величини 0,35 до величини 0,05, тобто зменшився в сім разів.

Програмна система розроблена в рамках даної роботи призначена для розрахунку економічних нормативів регулювання банківської діяльності засобами евклідової та інтервальної арифметики з використанням засобів мобільного зв'язку призначена для обчислення економічних нормативів банківської діяльності з використанням засобів мобільного зв'язку та інтервальної арифметики. Програма створена з використанням середовища програмування Visual Studio 2017 Express for Windows Phone.

Особливістю програмної системи є її можливість бути використаною в будь-яких умовах: в процесі бізнесових перемовин, у разі відсутності доступу до комп'ютерів, системи Wi-Fi, таке інше.

Методика визначення показників фінансової безпеки банків. В процесі роботи система обчислює показники банківської діяльності затверджені на час розробки системи Національним банком України. Використання інтервальної арифметики дає можливість аналізувати фінансовий стан банку за будь-яких умов поінформованості про їх значення. Перелік показників, які необхідно контролювати та способи їх визначення наведено в нормативних документах [15, 16]. Розроблена програмна система надає можливість визначити наступні показники банківської діяльності.

Норматив регулятивного капіталу банку (H1). Регулятивний капітал банку, не відкоригований на суму перевищення нормативів H7 та H9, розраховується за такою формулою:

$$PK1 = OK + DK - B, \quad (39)$$

де PK1 - регулятивний капітал банку, не відкоригований на суму перевищення нормативів H7 та H9; OK - основний капітал (капітал 1-го рівня); DK - додатковий капітал (капітал 2-го рівня); B - відвернення.

Регулятивний капітал банку, відкоригований на суму перевищення нормативів H7 та H9, розраховується за такою формулою:

$$PK = PK1 - CnH7(6) - CnH9(7). \quad (40)$$

PK береться до розрахунку таких нормативів: достатності (адекватності) регулятивного капіталу (H2), співвідношення регулятивного капіталу до сукупних активів (H3), співвідношення регулятивного капіталу до зобов'язань банку (H3-1), великих кредитних ризиків (H8).

Норматив достатності (адекватності) регулятивного капіталу (H2) розраховують за формулою

$$H2 = \frac{PK}{Ap + Cвп} \cdot 100\%; \quad (41)$$

де PK - регулятивний капітал банку, Ap - активи, зменшені на суму створених відповідних резервів за активними операціями, на суму забезпечення (але не більше ніж сума основного боргу за окремою операцією), кредиту (вкладень у боргові цінні папери), безумовним зобов'язанням або грошовим покриттям у вигляді застави майнових прав. Cвп - сукупна сума відкритої валютної позиції банку за всіма іноземними валютами та банківськими металами.

Норматив (коефіцієнт) співвідношення регулятивного капіталу до сукупних активів (H3) розраховують за такою формулою:

$$H3 = \frac{PK}{CA} \cdot 100\%, \quad (42)$$

де PK - регулятивний капітал; CA - сукупні активи.

Норматив (коефіцієнт) співвідношення регулятивного капіталу до зобов'язань банку (H3-1) розраховують за такою формулою:

$$H3-1 = \frac{PK}{3} \cdot 100\%, \quad (43)$$

де P_k - регулятивний капітал банку; Z - зобов'язання банку без урахування неамортизованих дисконтів та премій доходів майбутніх періодів резервів за виданими зобов'язаннями та за іншими операціями за позабалансовими рахунками валютної позиції, розрахунків між відокремленими підрозділами банку.

Норматив миттєвої ліквідності ($H4$) розраховують за такою формулою:

$$H4 = \frac{K_{кр} + K_a}{P_n + C_k} \cdot 100\%, \quad (44)$$

де $K_{кр}$ - кошти на кореспондентському рахунку; K_a - кошти в касі; P_n - поточні рахунки для розрахунку нормативу миттєвої ліквідності; C_k - строкові кошти суб'єктів господарювання, фізичних осіб і небанківських установ, кінцевий строк погашення яких настав.

Норматив поточної ліквідності ($H5$) (з кінцевим строком погашення до 31 дня) розраховують за такою формулою:

$$H5 = \frac{A}{3n} \cdot 100\%, \quad (45)$$

де A - активи банку з кінцевим строком погашення до 31 дня для розрахунку нормативу поточної ліквідності; $3n$ - зобов'язання банку з кінцевим строком погашення до 31 дня для розрахунку нормативу поточної ліквідності.

Норматив короткострокової ліквідності ($H6$), (з кінцевим строком погашення до одного року) розраховують за такою формулою:

$$H6 = \frac{A_l}{31} \cdot 100\%, \quad (46)$$

де A_l - ліквідні активи з кінцевим строком погашення до одного року для розрахунку нормативу короткострокової ліквідності; 31 - зобов'язання банку з кінцевим строком погашення до одного року для розрахунку нормативу короткострокової ліквідності.

Норматив максимального розміру кредитного ризику на одного контрагента (або групи пов'язаних контрагентів) ($H7$) розраховують за формулою

$$H7 = \frac{Z_c}{PK1} \cdot 100\%, \quad (47)$$

де Z_c - сукупна заборгованість за строковими депозитами, кредитами, факторингом і фінансовим лізингом, векселями, борговими цінними паперами, акціями, дебіторською заборгованістю, простроченими нарахованими доходами, 100 відсотків від суми позабалансових зобов'язань, виданих що до одного контрагента (або групи пов'язаних контрагентів), $PK1$ - регулятивний капітал банку.

Норматив великих кредитних ризиків ($H8$) розраховують за такою формулою:

$$H8 = \frac{Z_b}{PK}, \quad (48)$$

де Z_b - сукупна заборгованість за строковими депозитами, кредитами, факторингом і фінансовим лізингом, векселями, борговими цінними паперами, акціями,

дебіторською заборгованістю, простроченими нарахованими доходами, 100 відсотків від суми позабалансових зобов'язань, що враховуються в банку за великими кредитами за всіма контрагентами (або групою пов'язаних контрагентів); PK - регулятивний капітал банку.

Норматив максимального розміру кредитів, гарантій та поручительств, наданих одному інсайдеру ($H9$) розраховують за такою формулою:

$$H9 = \frac{Z_{ін}}{CT} \cdot 100\%, \quad (49)$$

де $Z_{ін}$ - сукупна заборгованість за строковими депозитами, кредитами, факторингом та фінансовим лізингом, векселями, борговими цінними паперами, акціями, дебіторською заборгованістю, простроченими нарахованими доходами, 100 відсотків від суми позабалансових зобов'язань щодо одного інсайдера (або групи пов'язаних інсайдерів), CT - статутний капітал банку.

Норматив максимального сукупного розміру кредитів, гарантій та поручительств, наданих інсайдерам ($H10$) розраховують за такою формулою:

$$H10 = \frac{CZ_{ін}}{CT} \cdot 100\%, \quad (50)$$

де $CZ_{ін}$ - сукупна заборгованість за строковими депозитами, кредитами, факторингом та фінансовим лізингом, векселями, борговими цінними паперами, акціями, дебіторською заборгованістю, простроченими нарахованими доходами, 100 відсотків від суми позабалансових зобов'язань щодо всіх інсайдерів, CT - статутний капітал банку.

Норматив інвестування в цінні папери окремо за кожною установою ($H11$) розраховують за такою формулою:

$$H11 = \frac{K_{ін}}{CT} \cdot 100\%, \quad (51)$$

де $K_{ін}$ - кошти банку, що інвестуються на придбання акцій (часток/паїв) окремо за кожною установою, CT - статутний капітал банку.

Норматив загальної суми інвестування ($H12$) розраховують за такою формулою:

$$H12 = \frac{K_{ін1}}{CT} \cdot 100\%; \quad (52)$$

де $K_{ін1}$ - кошти банку, що інвестуються з метою придбання акцій (часток/паїв) будь-яких юридичних осіб; CT - статутний капітал банку.

Співвідношення залишків за вкладками фізичних осіб до залишків пасивів банку розраховується за такою формулою:

$$C_{п.б.} = \frac{В_{кл.ф.}}{П}; \quad (53)$$

де $В_{кл.ф.}$ - залишки за вкладками фізичних осіб, $П$ - пасиви банку без урахування розрахунків між філіями та іншими підвідомчими установами банку.

Співвідношення обсягу операцій довірчого управління та сукупних активів банку розраховується за такою формулою:

$$C\delta = \frac{C\delta_{ов}}{CA} \cdot 100\% ; \quad (54)$$

де $C\delta_{ов}$ - сукупний обсяг операцій довірчого управління банку; CA - сукупні активи (які включаються до розрахунку нормативу $H3$).

Опис програмної системи. Програмна система розроблена в рамках даної роботи призначена для розрахунку економічних нормативів регулювання банківської діяльності засобами евклідової та інтервальної арифметики з використанням засобів мобільного зв'язку та інтервальної арифметики. Програмна система для розрахунку економічних нормативів регулювання банківської діяльності засобами евклідової та інтервальної арифметики з використанням засобів мобільного зв'язку розроблена в програмному середовищі Visual Studio 2017 Express for Windows Phone. Програмна система розроблена в рамках даної роботи призначена для розрахунку економічних нормативів регулювання банківської діяльності засобами евклідової та інтервальної арифметики з використанням засобів мобільного зв'язку призначена для обчислення економічних нормативів банківської діяльності з використанням засобів мобільного зв'язку та інтервальної арифметики.

До складу програмної системи входять інтервальный калькулятор і процедури, які виконують розрахунки економічних нормативів регулювання діяльності банків в Україні. Для запуску програмної

системи треба розкрити перелік дзастосунків, які встановлені на телефоні і доторкнутися до імені додатку «Економічні нормативи банку». Після цього з'явиться головна сторінка застосунку, загальний вигляд якої наведено на рис. 2, а.

Далі треба вибрати відповідну процедуру і доторкнутися відповідного елемента керування. З'явиться відповідна сторінка з текстовими полями для введення вихідних даних і елемента керування, за допомогою якого виконуються розрахунки для введення даних (поля в останньому рядку не заповнювати – вони призначені для результатів). На рис. 2, б, в наведені приклади відповідних сторінок після введення вихідних даних з отриманими результатами розрахунку.

Треба відзначити, що для сторінок: Нормативи регулятивного капіталу, Нормативи ліквідності; Нормативи кредитних ризиків; Нормативи інвестування; Співвідношення залишків і операцій вибрана розмітка «Panorama» з використанням елементів курування Metro-дизайну. Це означає, що нормативи цих груп розташовуються в зв'язаних сторінках і перехід між ними здійснюється дотиком з переміщенням праворуч або ліворуч. Для розрахунку решти показників використовується стандартна розмітка. На рис. 2, б наведено приклад використання Інтервального калькулятора при вводі початкових даних виконання інтервальных обчислень. На рис. 2, в наведені перелік математичних функцій, які можуть використовуватися при виконанні розрахунків для будь-якого математичного виразу. На рис. 2, г наведений приклад розрахунку регулятивного капіталу банку.



Рис. 2. Сторінки програмної системи (Fig. 2. Pages of the software system):

а – головна; б – процес введення даних; в – вбудовані функції; г – розрахунок

PK1 – регулятивного капіталу банку, невідкорегованого на суму перевищення нормативів H7 та H9

Аналіз структур формул, згідно з якими обчислюють значення цих показників подано в табл. 3.

З аналізу цієї таблиці можна зробити такий висновок. Показники, структура яких співпадає із змінними A, A_1, A_2, A_3, A_5 , повністю забезпечують визначення всіх показників, наведених в нормативних документах [14, 15].

Розрахункові формули показників банківської безпеки записані в інтервальні формі мають вигляд, наведений у наступних формулах.

Інтервальне обчислення показника типу A :

$$A = B + C - D \Rightarrow [B] + [C] - [D] = [(b_1, b_2) + (c_1, c_2)] - (d_1, d_2). \quad (55)$$

Таблиця 3 – Розрахункові формули для обчислення нормативних показників стану банку

Норматив	Структура формули	Норматив	Структура формули
H1	$A = B + C - D$	H7	A_3
H1-1	$A_1 = B_1 - C_1 - D_1$	H8	A_3
H2	$A_2 = B_3 / (C_3 + D_3)$	H9	A_3
H3	$A_3 = \frac{B_4}{C_4} \cdot [100]$	H10	A_3
H3-1	A_3	H11	A_3
H4	$A_5 = \frac{B_5 + C_5}{D_5 + E_5}$	H12	A_3
H5	A_3	C _{нб}	A_3
H6	A_3	C _д	A_3

Інтервальне обчислення показника типу A_1 :

$$A_1 = B_1 - C_1 - D_1 \Rightarrow [B_1] - [C_1] - [D_1] = (56) \\ = [(b_1, b_2) - (c_1, c_2)] - (d_1, d_2).$$

Інтервальне обчислення показника типу A_2 :

$$A_2 = \frac{B_3}{C_3 + D_3} \Rightarrow [[C_3] + [D_3]] = [G_3] = \frac{[B_3]}{[G_3]} = (57) \\ = (b_1^{(3)}, b_2^{(3)}) \cdot (1/g_2^{(3)}, 1/g_1^{(3)}).$$

Інтервальне обчислення показника типу A_3 :

$$A_3 = \frac{B_4}{C_4} \Rightarrow \frac{[B_4]}{[C_4]} = (b_1^{(4)}, b_2^{(4)}) \cdot (1/c_2^{(4)}, 1/c_1^{(4)}) (58)$$

Інтервальне обчислення показника типу A_5 :

$$A_5 = \frac{B_5 + C_5}{D_5 + E_5} \Rightarrow \frac{[B_5] + [C_5]}{[D_5] + [E_5]} = \frac{[H_5]}{[K_5]} (59)$$

Подальші дії виконують так, як при обчисленні показника типу A_3 .

В табл. 4 наведено приклади обчислення нормативів банківської безпеки засобами класичної та нестандартної математики.

Таблиця 4 – Порівняння обчислення нормативів банківської безпеки засобами класичної та нестандартної математики

Назва нормативу	Назва показників	Значення показників	Результати обчислення: інтервальна математика	
			класична	нестандартна
Норматив регулятивного капіталу банку (H1)	ОК ДК В СпН7 СпН9	[123451; 123459] [3451; 3461] [103; 109] [0,4435; 0,44873] [2,777; 2,811]	[126798; 126915] [126802; 126919]	[126799; 126903] [126803; 126807]
Норматив достатності (адекватності) регулятивного капіталу (H2)	РК Ар Свп	[126798; 126915] [571; 579] [652; 657]	[10258,7; 10377,35]	[10309; 10326]
Норматив (коефіцієнт) співвідношення регулятивного капіталу до сукупних активів (H3)	Рк З	[126798; 126915] [12345; 12349]	[1026,8; 1028,1]	[1027,13; 1027,64]
Норматив миттєвої ліквідності (H4)	Ккр Ка Рп Ск	[9678; 9699] [12151; 12168] [23788; 23851] [3494; 3499]	[79,813; 80,148]	[79,9; 80,06]
Норматив поточної ліквідності (H5)	А Зп	[851; 871] [1051; 1072]	[79,384; 82,873]	[80,97; 81,25]
Норматив короткострокової ліквідності (H6)	Ал Зл	[9069; 9125] [10510; 10720]	[84,598; 86,812]	[85,12; 86,29]
Норматив максимального розміру кредитного ризику на одного контрагента (H7)	Зс РК1	[563; 569] [126802; 126919]	[0,4435; 0,45873]	[0,44; 0,45]
Норматив великих кредитних ризиків (H8)	Зв РК	[3485; 3492] [126798; 126915]	[0,02745; 0,02753]	[0,027485; 0,027517]
Норматив максимального розміру кредитів, гарантій та порук, наданих одному інсайдеру (H9)	Зін СТ	[343; 347] [12345; 12349]	[2,777; 2,84]	[2,78; 2,83]
Норматив максимального сукупного розміру кредитів, гарантій та поручительств, наданих інсайдерам (H10)	СЗін СТ	[3429; 3456] [123451; 123471]	[2,7771703; 2799491]	[2,78; 2,80]
Норматив інвестування в цінні папери окремо за кожною установою (H11)	Кін СТ	[32457; 32489] [123451; 123471]	[26,2871; 26,317]	[26,29; 26,31]
Норматив загальної суми інвестування (H12)	Кін1 СТ	[43895; 43916] [123451; 123471]	[32,892; 35,57]	[35,56; 35,57]

Наведені результати розрахунків показали, що інтервали, визначені згідно з правилами нестандартної інтервальної математики мають величину інтервалу на 12%–90% менше, ніж обчислення, виконані згідно з вимогами класичної інтервальної математики.

Висновки

1. Запропоновано програмну систему для розрахунку економічних нормативів регулювання банківської діяльності засобами евклідової та інтервальної арифметики з використанням засобів мобільного зв'язку призначена для обчислення економічних нормативів банківської діяльності з використанням засобів мобільного зв'язку та інтервальної арифметики. Програма створена з використанням середовища програмування Microsoft Visual Studio 2010 Express for Windows Phone.

2. В процесі роботи система обчислює показники банківської діяльності затверджені на даний

час Національним банком України. Використання інтервальної арифметики дає можливість аналізувати фінансовий стан банку за будь яких умов поінформованості про їх значення.

3. Виконано порівняння результатів виконання арифметичних операцій з використанням аксіом класичного та нестандартного інтервального аналізу.

4. Критерієм ефективності обрано величину відносної зміни заключного інтервалу результатів обчислень, виконаних з використанням аксіом нестандартного інтервального аналізу по відношенню до аналогічних обчислень, виконаних з використанням аксіом класичного інтервального аналізу.

5. Результати розрахунків показали, що інтервали, визначені згідно з правилами нестандартної інтервальної математики мають величину інтервалу на 12%–90% менше, ніж обчислення, виконані згідно з вимогами класичної інтервальної математики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дубницький В.Ю., Кобилін А.М. Використання нестандартних інтервальних операцій для зменшення невизначеності у процесі виконання фінансових розрахунків. *Вісник університету банківської справи Національного банку України*. 2014. № 1 (19). С. 255-260.
2. Дубницький В.Ю., Кобилін А.М. Порівняльний аналіз результатів планування нормативів банківської безпеки засобами класичної та нестандартної арифметики. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2014. № 5 (69). С. 29-33.
3. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 101306. Комп'ютерна програма «Програмна система оперативної оцінки ефективності банківських валютних операцій, призначена для мобільних пристроїв на операційній системі ANDROID». В.Ю. Дубницький, А.М. Кобилін, О.А. Кобилін / 17. 12. 2020.
4. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 50065. Спеціалізований програмний продукт «НІМ». В.Ю. Дубницький, А.М. Кобилін / 08.07.2013.
5. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 50747. Спеціалізований програмний продукт «НІМ-2». В.Ю. Дубницький, А.М. Кобилін / 19.08.2013.
6. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. Москва: Мир, 1987. 259 с.
7. Moore R.E. Interval analysis. Eiigle wood Cliffs. N.J.: Prentic-e-llall, 1966. 159 p.
8. Hansen E. Topics in Interval Analysis. London: Oxford University Press, 1969. P. 35- 46.
9. Калмыков С.Л., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986. 224 с.
10. Kaucher E. Uber metrische und algebraische Eigenschaften einiger beim numersschen Technen auftretender Raume. Karlsruhe: Universitat Karlsruhe, 1973. 108 p.
11. Kaucher E. Algebraische Erweiterungen der Intervallrechnung unter Erhaltung Ordnungsund Verbandsstrukten. *Grandlagen der Computer-Arithmetic* (Computing Supplementum; 1). Albrecht R., Kulisch U., eds. Wien: Springer, 1977. P. 65-79.
12. Kaucher E. Interval analysis in extended interval space IR. *Fundamentals of numerical computation (Computer-oriented numerical analysis)*. Alefeld G., Grigorieff R.D., eds. Wien: Springer, 1980. P. 33-49.
13. Шарый С.В. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: XYZ, 2008, 726 с.
14. Постанова Правління національного банку України «Про схвалення Методики розрахунку економічних нормативів регулювання діяльності банків в Україні». НАЦІОНАЛЬНИЙ БАНК; Постанова, Методика від 02.06.2009 № 315.
15. Стельмах В.С., Єпіфанов А.О., Сало І.В., Єпіфанова М.А. Контроль: інспектування, аудит, банківський нагляд: монографія. Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. 432 с.

REFERENCES

1. Dubnytsky, V.Yu. and Kobylin, A.M. (2014), "Use of non-standard interval operations to reduce uncertainty in the process of performing financial calculations", *Bulletin of the University of Banking of the National Bank of Ukraine*, No. 19, pp. 255-260 (ukr.).
2. Dubnytsky, V.Yu. and Kobylin, A.M. (2014), "Comparative analysis of the results of planning the standards of banking security by means of classical and non-standard arithmetic", *Radio electronic and computer systems*, No. 5 (69), pp. 29-33 (ukr.).
3. Dubnytskyi, V.Yu., Kobylin, A.M. and Kobylin, O.A. (2020), *Software system for operational evaluation of the effectiveness of banking foreign exchange transactions, designed for mobile devices on the operating system ANDROID*, Computer program, Certificate of registration of copyright to the work No. 101306, 17.12.2020 (ukr.).
4. Dubnytskyi, V.Yu., and Kobylin, A.M. (2013), *Specialized software product «NIM»*, Certificate of registration of copyright to the work No. 50065, 08.07.2013 (ukr.).
5. Dubnytskyi, V.Yu., and Kobylin, A.M. (2013), *Specialized software product «NIM-2»*, Certificate of registration of copyright to the work No. 50747, 19.08.2013 (ukr.).
6. Alefeld, H. and Khertsberher, Yu. (1967), *Introduction to interval computation*, ACADEMIC PRESS, Paris, 360 p. (rus.).
7. Moore, R.E. (1966), *Interval analysis*, Eiigle wood Cliffs, N.J., Prentic-e-llall, 159 p.
8. Hansen, E. (1969), *Topics in Interval Analysis*, Oxford University Press, London, pp. 35- 46.
9. Kalmykov, S.L., Shokin, Ju.I. and Juldasev, Z.H. (1986), *Methods of interval analysis*, NAUKA, Novosibirsk, 224 p. (rus.)

10. Kaucher, E. (1973), *About the metric and algebraic properties of some of the spaces appearing in Numerian technology*, Universitat Karlsruhe, Karlsruhe, 108 p. (Ger.).
11. Kaucher, E. (1977), "Algebraic extensions of the interval calculation while preserving order and association structures", *Grandlagen der Computer-Arithmetic, (Computing Supplementum;1)*, Springer, Wien, pp. 65-79 (Ger.).
12. Kaucher, E. (1980), "Interval analysis in extended interval space IR", *Fundamentals of numerical computation (Computer-oriented numerical analysis)*, Springer, Wien, pp. 33-49.
13. Sharyj, S.P. (2010), *Finite-dimensional interval analysis*, XYZ, Novosibirsk, 601 p. (rus.)
14. (2009), *On approval of the Methodology for calculating economic standards for regulating the activities of banks in Ukraine*, Resolution of the Board of the National Bank of Ukraine, 02.06.2009, No. 315, NBU (ukr.).
15. Steljmakh, V.S., Jepifanov, A.O., Salo, I.V. and Jepifanova, M.A. (2006), "Control: inspection, audit, banking supervision", *Universytetsjka knygha*, Sumy, 432 p. (ukr.).

Received (Надійшла) 21.06.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.08.2021

ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Дубницький Валерій Юрійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник ННІ "Каразінський банківський інститут" ХНУ ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна;

Valeriy Dubnitskiy – Candidate of Technical Sciences, Senior Research, Senior Research of "Karazin Banking Institute" of V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: dubnitskiy@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1924-4104>.

Кобилін Анатолій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та математичного моделювання, ННІ "Каразінський банківський інститут" ХНУ ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна;

Anatolii Kobylin – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Associate professor of "Karazin Banking Institute" of V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: anatoliy_kam@ukr.net; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8083-0762>.

Кобилін Олег Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформатики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Oleg Kobylin – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Head of the Department of Informatics, Kharkiv National University of RadioElectronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: leg.kobylin@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0834-0475>.

**Выполнение на мобильных устройствах арифметических операций
с использованием аксиом классического и нестандартного интервального анализа**

В. Ю. Дубницкий, А. М. Кобылин, О. А. Кобылин

Аннотация. Цель работы. Разработка программного обеспечения для выполнения на мобильных устройствах арифметических операций расчетов с использованием аксиом классического и нестандартного интервального анализа и сравнения их эффективности. **Результаты.** Проведено сравнение результатов выполнения арифметических операций с использованием аксиом классического и нестандартного интервального анализа. Критерием эффективности избрана величина относительного изменения заключительного интервала результатов вычислений, выполненных с использованием аксиом нестандартного интервального анализа по отношению к аналогичным вычислениям, выполненным с использованием аксиом классического интервального анализа. Для сравнения эффективности вычислительного процесса избраны нормативные показатели, которые определяют финансовую безопасность банков. Приведены сведения об особенностях программной системы оперативной оценки эффективности банковских валютных операций, предназначенной для мобильных устройств на операционной системе ANDROID. Результаты расчетов показали, что интервалы, определенные согласно с правилами нестандартной интервальной математики имеют величину интервала на 12%–90% меньше, чем вычисления, выполненные согласно с требованиями классической интервальной математики.

Ключевые слова: мобильные устройства; специализированные программные калькуляторы; интервальный анализ; финансовая безопасность банков.

Performance of arithmetical operations on mobile gadgets using axioms of classical and nonstandard interval analysis

Valeriy Dubnitskiy, Anatolii Kobylin, Oleg Kobylin

Abstract. We propose a programming system for calculation of economical standards of regulating banking activity by means of Euclidian and interval arithmetic using mobile gadgets. The program was created by means of Microsoft Visual Studio 2017 Express for Windows Phone using C#. The feature of this programming system is the possibility to be used anywhere: during business negotiations, in the absence of PCs and WiFi, etc. For its application, one needs a smartphone with Android operation system. The smartphone needs to have a capacitive screen with multi-touch input with the possibility of more than four touches at once. The size of the screen can vary, but the resolution must be 480*480 pixels. During the progress, the system calculates the indicators of banking activity approved by National bank of Ukraine. Using of the interval arithmetic gives the possibility to analyse the financial status of the bank under any conditions. The comparison of the results of arithmetical operations by using the axioms of classical and nonstandard interval analysis was carried out. The criterion of the efficiency is the value of the relative change of the final interval of the calculations that were carried out using the axioms of the nonstandard interval analysis related to the same calculations that were carried out using the axioms of the classical interval analysis. For efficiency comparison we choose standard indicators that define the financial safety of the bank. The results of the calculations show that the intervals defined according to the rules of the nonstandard interval mathematics have the size of the interval 12-90% less than the intervals calculated according to the rules of the classical interval mathematics.

Keywords: mobile gadgets; special programming calculators; interval analysis; financial safety of the bank.