

9. Hrin H.R. Advanced System for Container Management in Multimodal Transport (MNS – Multimodal Network System) // Studies in Informatics and Control, Vol. 13, No 4, December 2004.

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) / Forth edition, 2008, Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073–3299 USA.

Д.Д. БУРКАЛЬЦЕВА,
к.е.н., доцент

Модель взаємодії векторів розвитку та загроз економічній безпеці

Розглянуто принципова можливість протидії факторам загроз економічній безпеці. Проведені перетворення лінійних диференціальних рівнянь. Отримано аналітичні вирази, що визначають параметри моделі взаємодії векторів розвитку та загроз. Досліджено можливі комбінації параметрів. Отримано висновок про доцільність застосування запропонованої моделі в реальній економіці. Визначено напрями подальших досліджень.

Ключові слова: економічна безпека, загрози, модель, вектор, диференціальні рівняння, розвиток, взаємодія.

Рассмотрена принципиальная возможность противодействия факторам угроз экономической безопасности. Проведены превращения линейных дифференциальных уравнений. Получены аналитические выражения, которые определяют параметры модели взаимодействия векторов развития и угроз. Исследованы возможные комбинации параметров. Получен вывод о целесообразности применения предложенной модели в реальной экономике. Определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: экономическая безопасность, угрозы, модель, вектор, дифференциальные уравнения, развитие, взаимодействие.

Економічна безпека України, як об'єкт соціально-економічної системи, є умовою сталого розвитку країни і залежить від безлічі факторів, що визначаються станом внутрішнього і зовнішнього середовища. Оскільки їхні допустимі межі визначені, був запропонований математичний підхід до побудови моделі, що дозволяє оцінити в багатовимірному просторі векторів розвитку та загроз величину інтегруючого вектора економічної безпеки [3]. На підставі запропонованого підходу була розроблена модель прогнозування стану економіки, що враховує вплив зовнішніх і внутрішніх сил і дозволяє коректно встановити допустимі інтервали зміни значень змінних факторів [4].

Постановка проблеми. Модель прогнозування економічного стану суб'єкта господарювання створює передумови до розгляду, в теоретичному аспекті, принципової можливості вироблення протидії факторам (векторам) загроз. Потрібно дослідити поведінку вектора розвитку економічної

безпеки (ВЕБ) у просторі та часі при впливі на нього компонент вектора загрози економічній безпеці (ВЗБ) з різними значеннями характеристичних коефіцієнтів.

Мета статті – провести перетворення лінійних диференціальних рівнянь. Отримати аналітичні вирази, що визначають параметри моделі взаємодії векторів розвитку та загроз. Дослідити можливі комбінації параметрів. Отримати висновок про доцільність застосування запропонованої моделі в реальній економіці. Визначити напрями подальших досліджень.

Виклад основного матеріалу. Лінійна диференціальна модель, що описує процес взаємодії векторів розвитку та загроз, була представлена системою двох диференціальних рівнянь [1–3]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -(ax(t) + by(t)) + E(t). \quad (1)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = -(cy(t) + hx(t)) + G(t). \quad (2)$$

где $x(t)$ – компонента вектора розвитку економічної безпеки (ВЕБ);

$y(t)$ – компонента вектора загрози економічній безпеці (ВЗБ);

$-ax(t)$ – швидкість, з якою несе втрати компонента $x(t)$ через неоптимальне управління;

$-by(t)$ – швидкість, з якою компонента ВЕБ $x(t)$ несе втрати від впливу $y(t)$ ВЗБ;

$E(t)$ – швидкість компенсації втрат системи ВЕБ;

$-cy(t)$ – швидкість, з якою несе втрати компонента $y(t)$ через неоптимальне управління;

$-hx(t)$ – швидкість, з якою компонента ВЗБ $y(t)$ несе втрати від протидії їй компоненти $x(t)$ ВЕБ;

$G(t)$ – швидкість компенсації втрат системи ВЗБ; коефіцієнти a, b, c, h – характеризують ступінь втрат компонент ВЕБ і ВЗБ і мають бути визначені за статистичними даними, причому зростання a і b знижує ВЕБ, а зниження c і h посилює ВЗБ.

Для аналітичного подання параметрів моделі введені умови:

– швидкість зміни компоненти ВЕБ $x(t)$ і компоненти ВЗБ $y(t)$ – не може перевершувати модулів цих величин;

ЕКОНОМІЧНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗЕЙ ТА ВИДІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

– значення коефіцієнтів a, b, c, h не можуть бути більше одиниці;
 – у системі рівнянь $E(t)$ і $G(t)$ відсутні, тобто дорівнюють нулю;
 – зміна компоненти ВЗБ у часі відбувається за лінійним законом

$$y(t) = mt + n, \quad (3)$$

де m може бути позитивною, негативною або рівною нулю, а n не може бути негативною, тому що в протилежному випадку фактор загроз економічної безпеки перетворюється на чинник розвитку системи.

При прийнятих припущеннях для дослідження поведінки ВЕБ під впливом ВЗБ досить диференціального рівняння (1) і умови (3). Підставляючи в рівняння (1) умови (3) з урахуванням $E(t) = 0$, отримали:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -ax(t) - bmt - bn. \quad (4)$$

Диференціальне рівняння (4) було перетворено в рівняння з відокремлюваними змінними. Поділяючи перемінні і інтегруючи, а потім повертаючись до колишньої змінної, отримали:

$$x(t) = -\frac{C_2}{a^2} e^{-at} + D - \frac{bmt}{a}, \quad (5)$$

$$\text{де } C_2 = -a^2(x_0 - D), \quad D = \frac{bm}{a^2} - \frac{bn}{a}.$$

Рішення (5) досліджено при різних значеннях констант a, b, m, n з урахуванням умови нормування за таким алгоритмом:

1. При максимальних нормованих значеннях параметрів $a = 1$ і $b = 1$, що відповідає максимальній дії ВЗБ на ВЕБ і максимальній швидкості, з якою несе втрати ВЕБ з причини, пов'язаної з неоптимальним управлінням розвитком системи та іншими несприятливими факторами, що виникають усередині самої системи.

2. При максимальному нормованому значенні параметра $a = 1$ і малому нормованому значенні $b = 0,1$.

3. При малому нормованому значенні параметра $a = 0,1$ і максимальному нормованому значенні $b = 1$.

4. При малих нормованих значеннях параметрів $a = 0,1$ і $b = 0,1$, що відповідає малому руйнівній дії компоненти ВЗБ на компоненту ВЕБ і малій швидкості, з якою несе втрати ВЕБ з причини, пов'язаної з неоптимальним управлінням розвитком системи та іншими несприятливими факторами, що виникають усередині самої системи.

Для кожного з пунктів 1–4 дослідження проводилися при різних значеннях коефіцієнтів: $a = 0,1(0,5, 1,0)$, $b = 0(0,1, 1,0)$, $m > 0, m = 0, m < 0, n = 0$ і $n > 0$ (див. табл.).

Параметри ВУБ не приймають негативних значень, оскільки в цьому випадку вектор загроз перетворюється у вектор розвитку. Наприклад, якщо компонента ВЕБ – продуктова безпека системи, а компонента ВЗБ – засуха, то після перетину спадної функцією компоненти ВЗБ осі абсцис її економічний сенс стає протилежним (доціль), що сприяє зростанню ВЕБ; якщо ВЗБ – рівень інфляції, то його зниження сприяє зростанню ВЕБ; якщо ВЗБ – високий рівень дер-

Таблиця 1. Взаємодія ВЕБ і ВЗБ при змінних значеннях параметрів

	Характеристика ВЕБ, ВЗБ	Значення параметрів				Рис.
		a	b	m	n	
1.1	ВЗБ зростає, ВЕБ убыває	1	1	0,5 1,0	0	1
1.2	ВЗБ убыває	1	1	-0,5 -1,0	1	2
1.3	ВЗБ постійна величина	1	1	0	0,1 1,0	3
2.1	ВЗБ мінімальний	1	0,1	0,5 1,0	0	4
2.2	ВЗБ мінімальний	1	0,1	+0,5 -1,0	1	5
2.3	ВЗБ мінімальний	1	0,1	0	0,1 1,0	6
3.1	ВЗБ максимальний	0,1	1	0,5 1,0	0	7
3.2	ВЕБ внутрішньосистемна дезорганізація незначна	0,1	1	-0,5 -1,0	1	8
3.3	ВЕБ звертається в нуль	0,1	1	0	0,1 1,0	9
4.1	ВЕБ внутрішньосистемна дезорганізація незначна; ВЗБ мінімальний	0,1	0,1	0,5 1,0	0	10
4.2	ВЗБ знижує вплив	0,1	0,1	-0,5 -1,0	1	11
4.3	ВЗБ зростає, ВЕБ звертається в нуль	0,1	0,1	0	0,1 1,0	12
5.1	ВЗБ відсутній	0,5 1,0	0	-	-	13
5.2	ВЕБ дезорганізований мінімально; ВЗБ максимальний	0,01	1	1,0 -1,0	0	14

жавного боргу, то його зниження несе позитивний економічний ефект і сприяє зростанню ВЕБ. Тому при аналізі взаємодії компонент ВЕБ і ВЗБ їхні графіки розглядаються тільки до перетину однієї з компонент осі абсцис. Графічна інтерпретація взаємодії ВЕБ і ВЗБ відображена на рис. 1–14. Кожен з розглянутих випадків (1.1–5.2 таблиці) взаємодії ВЕБ і ВЗБ пояснюється наступним:

1.1. Із зростанням динаміки збільшення компоненти ВЗБ вдвічі при заданих початкових умовах збільшується нахил кривої $x(t)$, а час існування компоненти ВЕБ зменшується з 1,27 до 1 умовних тимчасових одиниць.

1.2. Зі зростанням ВЗБ від $m = -1$ до $m = -0,5$ час існування ВЕБ зменшується. При $m = -1$ ВЕБ не досягає осі абсцис і починає збільшуватися після зникнення ВЗБ.

1.3. Збільшення абсолютної величини ВЗБ с $n = 0,1$ до $n = 1$ призводить до зменшення ВЕБ. Умовне час існування ВЕБ зменшується з 2,4 до 0,7.

2.1. При малій ефективності впливу ВЗБ на ВЕБ збільшення інтенсивності зростання ВЗБ вдвічі призводить до зменшення часу існування ВЕБ з 2,5 до 2,1, тобто всього на 20%.

2.2. При малій ефективності впливу ВЗБ на ВЕБ збільшення інтенсивності падіння ВЗБ вдвічі (з $m = -0,5$ до $m = -1$) компоненті ВЗБ не вдається повністю знищити ВЕБ.

2.3. При малій ефективності впливу ВЗБ на ВЕБ збільшення значення ВЗБ у десять разів (з $n = 0,1$ до $n = 1$) призводить до зменшення часів існування ВЕБ від 4 до 2,5, тобто в ВЗБ вдається повністю знищити ВЕБ, але за відносно

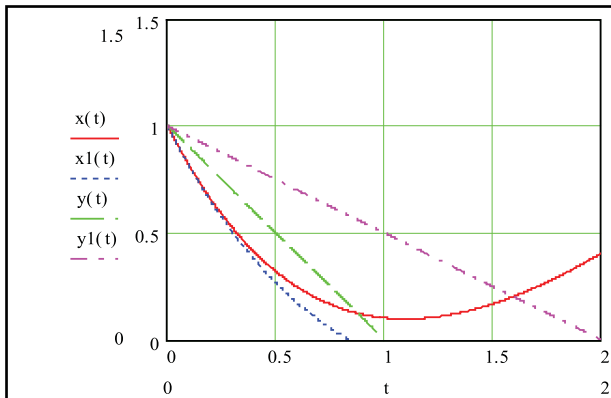


Рисунок 1. $a = 1, b = 1, m = 0,5$ и $m = 1$

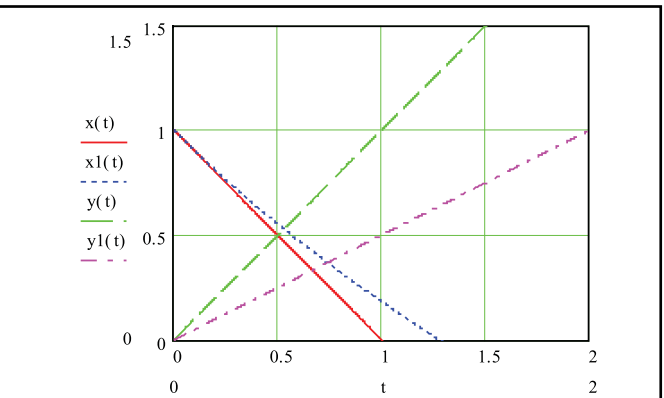


Рисунок 2. $a = 1, b = 1, m = -0,5$ и $m = -1$

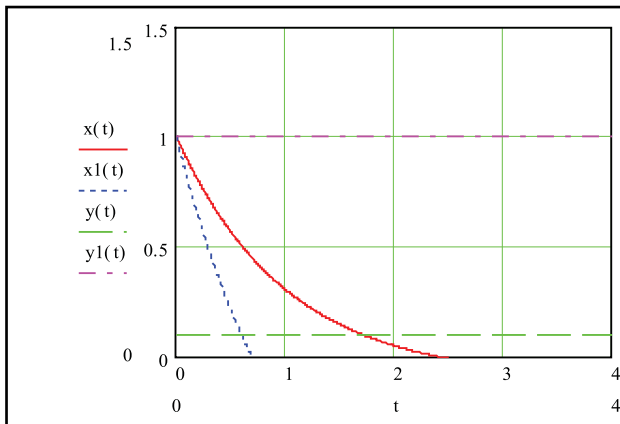


Рисунок 3. $a = 1, b = 1, m = 0, n = 0,1, n = 1$

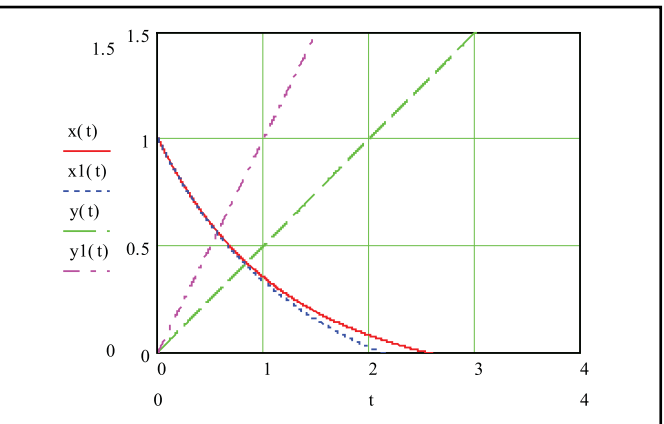


Рисунок 4. $a = 1, b = 0,1, m = 0,5, m = 1, n = 0$

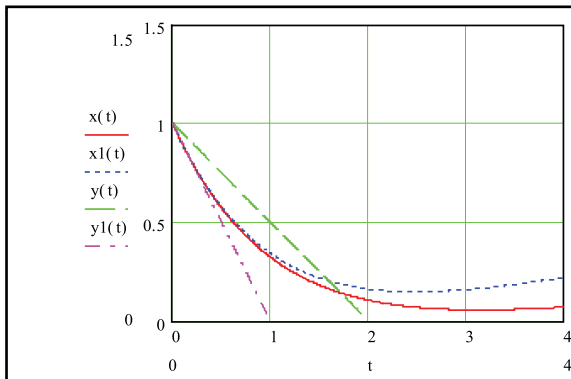


Рисунок 5. $a = 1, b = 0,1, m = -0,5, m = -1, n = 1$

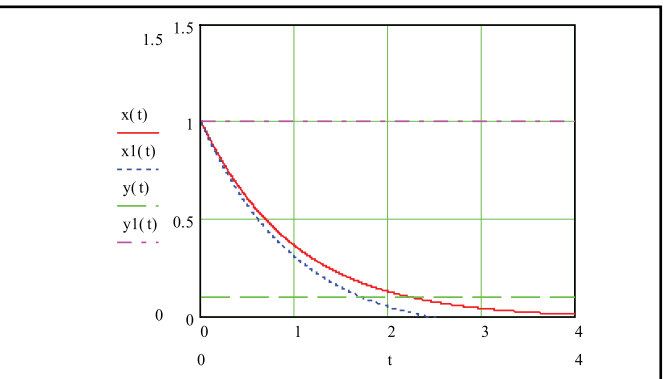


Рисунок 6. $a = 1, b = 0,1, m = 0, n = 0,1, n = 1$

ЕКОНОМІЧНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗЕЙ ТА ВИДІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

тривалий час, що дає можливість керівництву системи ВЕБ додатковий час на оптимізацію рішень.

3.1. При великій ефективності впливу ВЗБ на ВЕБ збільшення значення ВЗБ (з $n = 0,1$ до $n = 1$) призводить до зниження часу існування ВЕБ з 1,9 до 1,4 умовної одиниці, причому знак другої похідної за часом змінюється з позитивного на негативний, збільшуючи крутість та швидкість зменшення ВЕБ.

3.2. Зростання інтенсивності зниження ВЗБ вдвічі (з $m = -0,5$ до $m = -1$) призводить до того, що ВЕБ до моменту повного зникнення ВЗБ не зникає повністю, а досягає свого мінімуму, рівного 0,45, і якщо він перевищує критичний, при якому система (ВЕБ) не здатна відновити свої функції, далі вона може ефективно відновлюватися.

3.3. ВЕБ під впливом ВЗБ зникає в обох випадках. Різниця полягає лише в тому, що в першому випадку час існування ВЕБ становить сім умовних одиниць, що дає достатньо часу керівництву для прийняття рішення щодо виведення системи з критичного стану, а в другому – фактично лише одну одиницю.

4.1. Збільшення ВЗБ вдвічі (з $m = 0,5$ до $m = 1$) призводить до скорочення часу існування ВЕБ з 5,1 до 4 і при цьому друга похідна ВЕБ стає негативною, посилюючи ситуацію.

4.2. ВЕБ до моменту повного зникнення ВЗБ не зникає повністю, а досягає мінімуму, рівного 0,8 від початкового нормованого значення $x_0 = 1$, і далі може ефективно відновлюватися.

4.3. Збільшення впливу ВЗБ у десять разів (з $n = 0,1$ до $n = 1$) призводить до повного зникнення компоненти ВЕБ. Проте

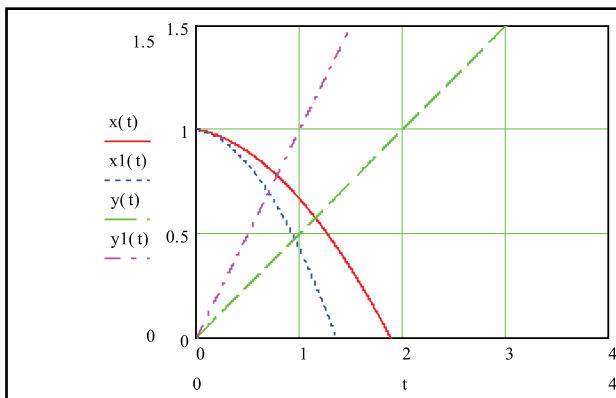


Рисунок 7. $a = 0,1, b = 1, m = 0,5, n = 0$

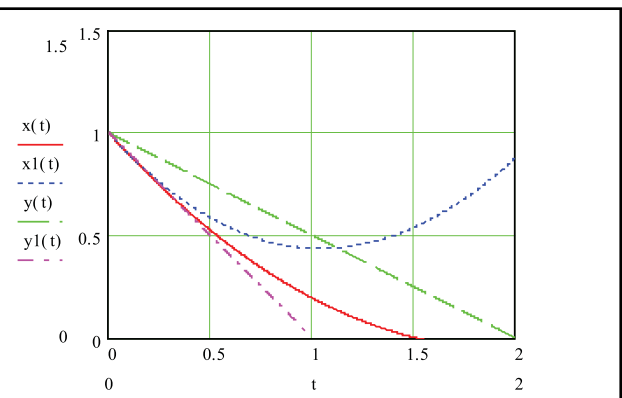


Рисунок 8. $a = 0,1, b = 1, m = -0,5, n = 1$

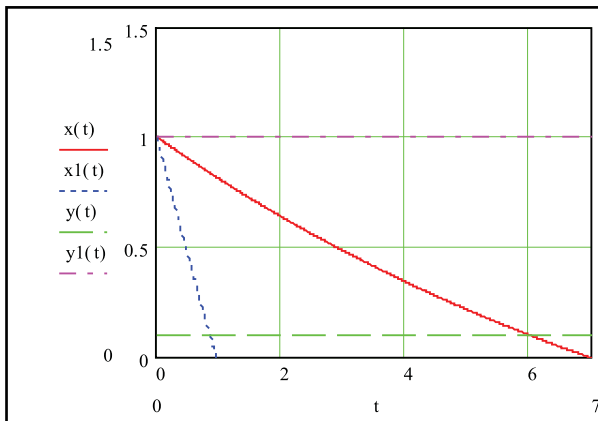


Рисунок 9. $a = 0,1, b = 1, m = 0, n = 0,1, n = 1$

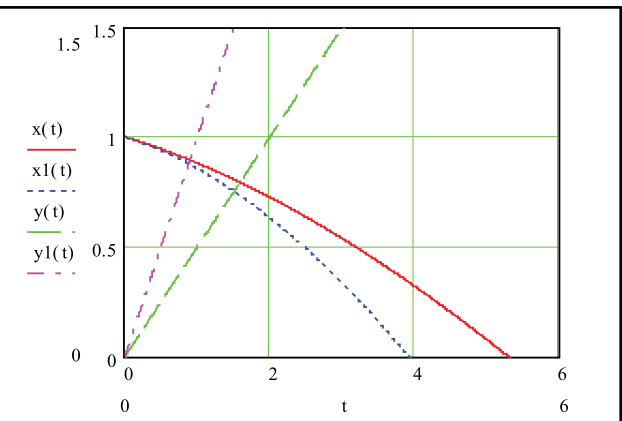


Рисунок 10. $a = 0,1, b = 0,1, m = 0,5, n = 1$

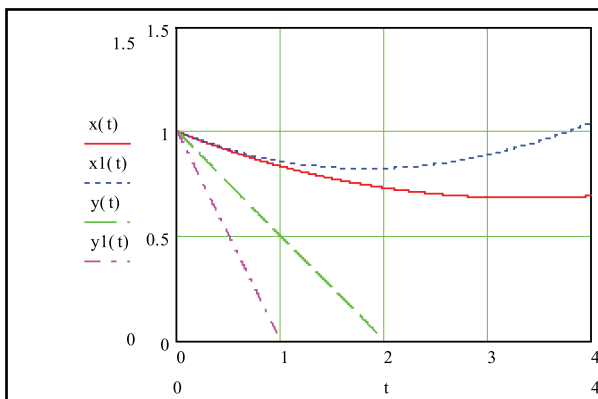


Рисунок 11. $a = 0,1, b = 0,1, m = -0,5, n = 1$

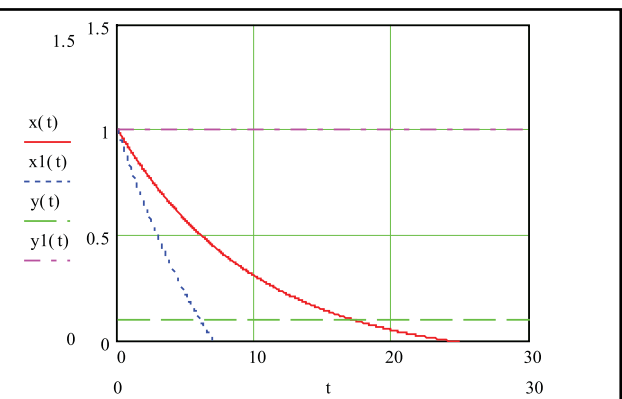


Рисунок 12. $a = 0,1, b = 0,1, m = 0, n = 0,1, n = 1$

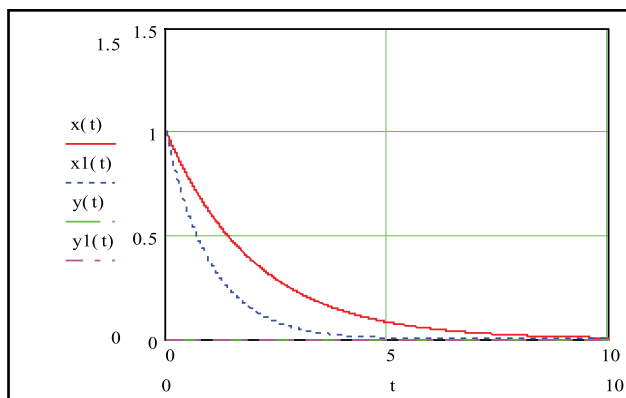


Рисунок 13. $a=0,5, a=1, b=0$

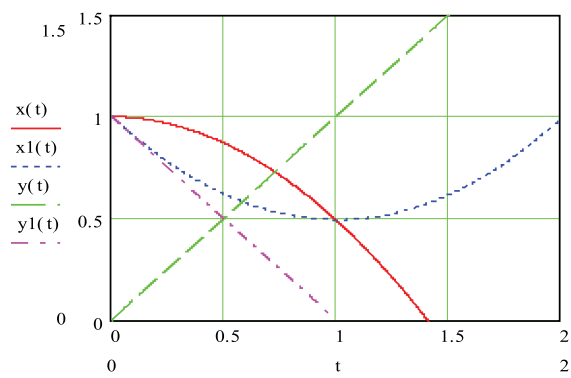


Рисунок 14. $a=0,01, b=1, m=1, n=0$ и 1

при слабкому впливі ВЗБ це відбувається за час, рівний 23, а при сильному – за 7 умовних одиниць. Тобто спостерігається нелінійна залежність – збільшення інтенсивності ВЗБ в 10 разів зменшує час існування ВЕБ трохи більше, ніж у 3 рази.

Розгляд чотирьох практично можливих випадків взаємодії ВЕБ і ВЗБ з варіаціями всіх економічно важливих параметрів дозволяє перейти до дослідження поведінки ВЕБ і ВЗБ при відсутності деяких з факторів у правій частині рівняння (1).

5.1. Відсутні втрати від впливу ВЗБ, але є втрати $x(t)$ (ВЕБ) з причини, пов'язаної з неоптимальним управлінням розвитком системи ВЕБ та іншими несприятливими факторами всередині системи, не пов'язаними з ВЗБ. Чим більше коефіцієнт, тим крутіше до осі абсцис спадає крива $x(t)$ (ВЕБ) і тим менше час її існування, а отже і час для прийняття рішень. Для $a=0,5$ час існування ВЕБ становить 8, а для $a=1$ тільки 4 умовних одиниці.

5.2. Модель передбачає обов'язкове існування мінімальної дезорганізації в системі ВЕБ з причини, пов'язаної з неоптимальним управлінням та іншими несприятливими факторами, що виникають всередині системи, не пов'язані з ВЗБ. При зростанні ВЗБ ВЕБ інтенсивно убуває, причому так, що її друга похідна негативна, а час існування обмежено 1,4 умовної одиниці. При убуванні ВЗБ ВЕБ убуває менш інтенсивно, так, що її друга похідна позитивна і час існування ВЕБ не обмежена.

Таким чином, результати математичного аналізу системи лінійних диференціальних рівнянь, отримані при розгляді взаємодії векторів ВЕБ і ВЗБ при різних значеннях їх компонент, свідчать, що характер і динаміка зміни ВЕБ при впливі ВЗБ відповідають тенденціям, які спостерігаються в реальних економічних системах.

Висновки

1. Запропонована математична модель, представлена диференціальним рівнянням стану ВЕБ (1) і умовою впливу ВЗБ (3), дозволяє отримати якісну і кількісну оцінку результатів взаємодії компонент ВЕБ і ВЗБ, прогнозувати характер зміни обох компонент у часі, що сприяє прийняттю опти-

мальних рішень при моделюванні різних ситуацій у задачах забезпечення економічної безпеки.

2. Представлена модель має широкі можливості і може бути модифікована для випадку, коли $E(t)$ – швидкість компенсації втрат системи ВЕБ має вигляд лінійної функції, причому компенсація може бути надана як із зовнішнього середовища системи, так і самою системою за рахунок активізації внутрішніх резервів і оптимізації прийнятих рішень. Для цього випадку може бути отримано достатньо коректне аналітичне рішення.

Наукова новизна роботи полягає в дослідженні взаємодії векторів розвитку (ВЕБ) і погроз (ВЗБ) економічної безпеки та виведення про можливість кількісної оцінки результату.

Практична корисність дослідження полягає в розгляді взаємодії векторів розвитку економічної безпеки та загроз і виявленні можливості прогнозування характеру змін обох компонент ВЕБ і ВЗБ.

Подальші дослідження для впровадження результатів моделювання в систему управління щодо забезпечення економічної безпеки суб'єктів господарювання доцільно спрямувати на розробку методик та аналітичних залежностей для розрахунку поточних значень характеристичних параметрів моделі взаємодії ВЕБ і ВЗБ.

Список використаних джерел

1. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях / В.В. Амелькин. – М.: Изд-во «Наука». 1987. – 158 с.
2. Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г. Основы теории систем управления (исслед. и проектир.) / Ю.В. Бородакий, Ю.Г. Лободинский. – М.: Радио и связь. 2004. – 256 с.
3. Иванов П.И., Арзуманов Р.М. Методология количественной оценки экономической безопасности субъектов хозяйствования / П.И. Иванов, Р.М. Арзуманов // Экономика рыночных отношений. – №8. – 2011. – С. 143–152.
4. Иванов П.И., Арзуманов Р.М. Модель анализа экономической безопасности с учетом вектора угроз / П.И. Иванов, Р.М. Арзуманов. // Экономика рыночных отношений. – №8, 2011.