

УДК 005.963.1:629.7.-027.3

doi: 10.32620/aktt.2023.4.12

О. Є. ФЕДОРОВИЧ, О. В. СЛОМЧИНСЬКИЙ,  
А. В. ЄЛІЗЄВА, Л. С. СМІДОВИЧ, О. С. ЯШИНА

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут, Харків, Україна*

## МОДЕЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ В СУЧАСНИХ ПОЛІТИКО-ЕКОНОМІЧНИХ УМОВАХ

Формується та вирішується задача дослідження стійкості високотехнологічних підприємств (авіаційна, космічна, машинобудівельна галузі) до прояви загроз та виникнення збитків (економічні, технологічні, тощо). Актуальність дослідження пов'язана зі збільшенням ризиків, які виникають у зовнішньому середовищі та призводять до деградації високотехнологічних підприємств. Аналізуються ризики функціонування та розвитку високотехнологічних підприємств, які пов'язані з сучасними політико-економічними загрозами та наслідками війни. Робиться висновок, що стійкість високотехнологічного виробництва є однією з актуальних проблем відновлення економіки країни у поствоєнний період. Тому актуальна тема пропонованої статті, в якій досліджуються можливі напрямки забезпечення стійкості високотехнологічних підприємств в умовах турбулентності світової економіки та труднощів, які з'явилися у результаті воєнного стану країни. Проводиться аналіз напрямків забезпечення стійкості високотехнологічних підприємств у післявоєнний період. Моделюються можливі витрати на забезпечення стійкості підприємства в умовах ризиків виникнення можливих загроз (політико-економічні, кліматичні, терористичні, військові). Створюється модель для дослідження логістичних процесів формування нових ланцюгів постачання комплектуючих, в умовах виникнення порушень щодо постачання. Аналізуються витрати на відновлення забезпечуючої інфраструктури підприємства в результаті наслідків воєнного стану та дій агресора. Моделюється процес релокації (евакуації) підприємства в нові місця розташування, як приклад забезпечення стійкості підприємства у воєнний період. Створюється імітаційна модель для дослідження впливу загроз та виникнення збитків, для прийняття превентивних дій щодо забезпечення стійкості підприємства. Наукова новизна дослідження зв'язана з розробкою комплексу моделей, за допомогою яких досліджуються напрямки забезпечення стійкості високотехнологічних підприємств сучасним викликам та загрозам. Результати дослідження доцільно використовувати для моделювання планів превентивних дій до прояви загроз та появи збитків, що забезпечує підвищення стійкості та надійності функціонування високотехнологічних підприємств.

**Ключові слова:** стійкість підприємства; загрози функціонуванню виробництва; збудження вразливостей; виникнення збитків; превентивні заходи; моделювання загроз.

### Вступ

Наслідками війни є руйнування інфраструктури та технологічного обладнання високотехнологічних підприємств, що становить вкрай важливу, для розв'язання задачі – створити конкурентоспроможну промисловість в умовах викликів та загроз, а також обмежених можливостей [1-3]. Аналіз публікацій щодо проблеми забезпечення стійкості та надійності функціонування високотехнологічних підприємств (авіаційна, космічна, машинобудівельна та інші галузі промисловості) в сучасних політико-економічних умовах, виявив наступні напрямки досліджень [4-6]:

1. Глобалізація економіки призвела до створення великих виробництв, які мають вразливості за розподіленості та складних логістичних зв'язків

з постачальниками комплектуючих, матеріалів та сировини [7-9].

2. Турбулентність сучасної світової економіки призвела до зростання ризиків появи загроз до функціонування високотехнологічних виробництв [10-12].

3. Виникнення довгих, іноді заплутаних, логістичних ланцюгів постачання призвело до прояви їх вразливостей щодо загроз, що може порушити плановий процес виробництва та зрив виконання замовлень зі створення високотехнологічних виробів [13-15].

4. Наявність локальних конфліктів та війн призвели до руйнування інфраструктури підприємств та можливого останову виробництва високотехнологічної продукції [16-18].

5. Для забезпечення стійкості підприємств в умовах сучасних викликів та загроз, необхідно

сформувати фактори та критерії оцінки стійкості [19-21].

Метою дослідження є створення комплексу моделей, за допомогою яких досліджується можливі напрямки забезпечення стійкості підприємств в умовах обмежених можливостей.

Дослідження складається з наступних етапів:

1. Аналіз напрямків забезпечення стійкості високотехнологічних підприємств.
2. Оцінка витрат на забезпечення стійкості.
3. Моделювання диверсифікації логістичних ланцюгів та постачальників комплектуючих.
4. Моделювання ризиків виникнення загроз, що порушують стійкість функціонування високотехнологічних підприємств.

## **1. Аналіз напрямків забезпечення стійкості високотехнологічних підприємств**

Стійкість підприємства, у більшості дослідників, розглядається як здатність підприємства протидіяти факторам загроз, як зовнішнього, так і внутрішнього характеру [22, 23].

До факторів загроз, які порушують стійкість підприємства можна віднести:

1. Моральне та фізичне старіння технологічного обладнання.
2. Порушення забезпечуючої інфраструктури високотехнологічного виробництва (подача енергії, газу, води, тощо).
3. Порушення економічних зав'язків з зовнішнім середовищем (порушення джерела, строків та обсягів фінансування, тощо).
4. Застарілий менеджмент та системи управління виробничими процесами.
5. Вихід зі строю технологічного обладнання з-за прояви загроз (наприклад, військові дії).
6. Порушення логістичних ланцюгів постачання.

Відповідно до цих факторів загроз, можна виділити наступні актуальні напрями для забезпечення стійкості високотехнологічного підприємства:

1. Планування та виконання проектів щодо відновлення інфраструктури та придбання сучасного технологічного обладнання.
2. Перехід на нові форми сучасного управління розподіленим виробництвом (віртуалізація та цифрова трансформація виробництва).
3. Диверсифікація логістики постачання та формування нових постачальників комплектуючих.
4. Релокація підприємства на нове, безпечне та перспективне місце виробництва.

5. Формування нових напрямків діяльності (створення інноваційних продуктів, диверсифікація виробництва, тощо).

6. Використання для забезпечення стійкості комбінованого підходу (комбінація напрямків 1-5).

Заходи, які необхідно провести в якості превентивних дій для забезпечення стійкості високотехнологічного підприємства, можна оцінити наступними показниками:

1. Витрати на проведення заходів –  $W$ .
2. Час необхідний для проведення заходів –  $T$ .
3. Ризики виконання проектів щодо забезпечення стійкості високотехнологічного підприємства –  $R$ .

## **2. Оцінка витрат на забезпечення стійкості**

Витрати на забезпечення стійкості та надійності функціонування високотехнологічного підприємства пов'язані з превентивним характером заходів та залежать від вибору напрямку забезпечення стійкості.

В якості прикладу забезпечення стійкості, розглянемо напрямок, пов'язаний з релокацією підприємства, що характерно у сучасний період воєнного стану країни.

Релокація підприємства проводиться поетапно та включає наступні складові:

1. Вибір нового місця розташування.
2. Підготовка забезпечуючої інфраструктури виробництва на новому місці.
3. Демонтаж технологічного обладнання.
4. Логістика транспортування та переміщення підприємства на нове місце розташування.
5. Монтаж технологічного обладнання, підключення до забезпечуючої інфраструктури.
6. Пусконаладжувальні роботи.
7. Запуск виробничих ліній.

Вибір нового місця розташування високотехнологічного виробництва залежить від наявності забезпечуючої інфраструктури та вартості земельних ділянок для розгортання підприємства. Задача носить багатоваріантний характер та використовує множину показників.

Нехай, для вибору нового місця розташування підприємства, використовуються наступні показники:

$W_1$  – вартість земельної ділянки (оренда, продаж, тощо);

$W_2$  – логістичні витрати на переміщення підприємства (залежить від місця розташування та вибору транспорту для перевезення вантажів);

$T$  – час, потрібний на переміщення підприємства;

$R$  – ризики переміщення підприємства на нове місце розташування.

Виникає оптимізаційна задача, для якої будемо використовувати цілочисельне (булеве) програмування.

Введемо булеву змінну  $x_j$ , значення якої:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо обрано } j\text{-е місце} \\ & \text{розташування підприємства,} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Тоді:

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 = \\ &= \sum_{j=1}^n w_{1j}x_j + \sum_{j=1}^n w_{2j}x_j = \\ &= \sum_{j=1}^n (w_{1j} + w_{2j})x_j, \end{aligned}$$

де  $w_{1j}$  – вартість  $j$ -ї можливої земельної ділянки для розташування підприємства;

$w_{2j}$  – витрати на логістику транспортування підприємства на  $j$ -е нове місце розташування підприємства;

$n$  – кількість можливих нових місць розташування підприємства;

$$T = \sum_{j=1}^n t_j x_j,$$

де  $t_j$  – потрібний час на переміщення підприємства на  $j$ -е нове місце розташування.

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 = \\ &= \sum_{j=1}^n r_{1j}x_j + \sum_{j=1}^n r_{2j}x_j = \\ &= \sum_{j=1}^n (r_{1j} + r_{2j})x_j, \end{aligned}$$

де  $R_1$  – ризик, який пов'язаний з новим місцем розташування підприємства (у воєнний час це глибина тилу);

$R_2$  – ризик логістичного процесу переміщення підприємства (залежить від вибору маршрутів переміщення та видів транспорту, що використовується);

$r_{1j}$  – ризик, який пов'язаний з вибором  $j$ -го місця розташування підприємства;

$r_{2j}$  – ризик логістики переміщення підприємства на  $j$ -е нове місце розташування.

Вибір головного показника у вигляді цільової функції залежить від рішення керівництва підприємства та ради експертів – фахівців в галузі релокації підприємств.

Нехай, наприклад, в якості головного показника використовується час на переміщення підприємства (що особливо важливо в умовах воєнного стану країни).

Тоді, необхідно:

$$\min T, T = \sum_{j=1}^n t_j x_j,$$

з урахуванням виконання наступних обмежень на інші показники:

$$\begin{aligned} W &\leq W', W = \sum_{j=1}^n (w_{1j} + w_{2j})x_j, \\ R &\leq R', R = \sum_{j=1}^n (r_{1j} + r_{2j})x_j, \end{aligned}$$

де  $W'$  – допустимі витрати на переміщення підприємства;

$R'$  – допустимий ризик переміщення підприємства.

Вирішення задачі цілочисельного програмування можна здійснити за допомогою відомих методів.

### 3. Моделювання диверсифікації логістичних ланцюгів та постачальників комплектуючих

Переміщення високотехнологічного підприємства на нове місце розташування призводить до необхідності диверсифікації постачальників комплектуючих та вибору нових ланцюгів постачання.

Вибір можливих постачальників  $i$ -х комплектуючих залежить від значення наступних показників:

$N$  – кількість комплектуючих, необхідних для планової роботи підприємства;

$T$  – час на постачання комплектуючих;

$Q$  – якість комплектуючих;

$R$  – ризик постачання комплектуючих.

Для планової роботи високотехнологічного підприємства необхідно формувати запаси комплектуючих (це особливо важливо в період воєнного стану країни). Тому, в якості основного показника будемо використовувати кількість комплектуючих.

Необхідно:

$$\max N = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{m_i} n_{ik} x_{ik},$$

де  $M$  – номенклатура необхідних комплектуючих для планової роботи високотехнологічного підприємства;

$m_i$  – множина можливих постачальників  $i$ -х комплектуючих;

$n_{ik}$  – кількість  $i$ -х комплектуючих, яку можуть поставити  $k$ -й постачальник;

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{якщо обрано } k\text{-го постачальника} \\ & i\text{-х комплектуючих,} \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

з урахуванням виконання обмежень на інші показники:

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{m_i} t_{ik} x_{ik},$$

$$Q \geq Q', Q = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{m_i} q_{ik} x_{ik},$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{m_i} r_{ik} x_{ik},$$

де  $t_{ik}$  – час на постачання  $i$ -х комплектуючих  $k$ -м можливим постачальником;

$q_{ik}$  – якість  $i$ -х комплектуючих, які виробляються  $k$ -м можливим постачальником;

$r_{ik}$  – ризик постачання  $i$ -х комплектуючих від  $k$ -го можливого постачальника;

$T', Q', R'$  – допустимі значення часу, якості та ризику постачання комплектуючих від нових постачальників.

#### 4. Моделювання ризиків виникнення загроз, що порушують стійкість функціонування високотехнологічних підприємств

Турбулентність сучасної поведінки глобальної економіки пов'язана з виникненням нових викликів та загроз (політико-економічні, кліматичні, терористичні, тощо), для яких необхідно підготуватись, шляхом проведення превентивних заходів, які спрямовані на забезпечення стійкості високотехнологічного підприємства. Це особливо важливо в період воєнного стану країни, тому що до цих можливих

загроз додається військові, які пов'язанні з ракетними та авіаційними обстрілами підприємств. В цих умовах, необхідно аналізувати рівень можливих загроз, визначити вразливості, які пов'язані з ними та оцінити можливі збитки, у результаті прояви загроз. Все це необхідно для формування планів, дій, для забезпечення стійкості високотехнологічного підприємства. Тому, актуальне дослідження впливу можливих загроз для формування превентивних заходів щодо забезпечення стійкості підприємства.

Для оцінки впливу загроз на стійкість підприємства, була створена імітаційна агентна модель, за допомогою якої досліджується ланцюг: загроза – вразливості – збитки – превентивні заходи для забезпечення стійкості. Ланцюг загроз представлено у моделі у вигляді послідовності подій (рис. 1).

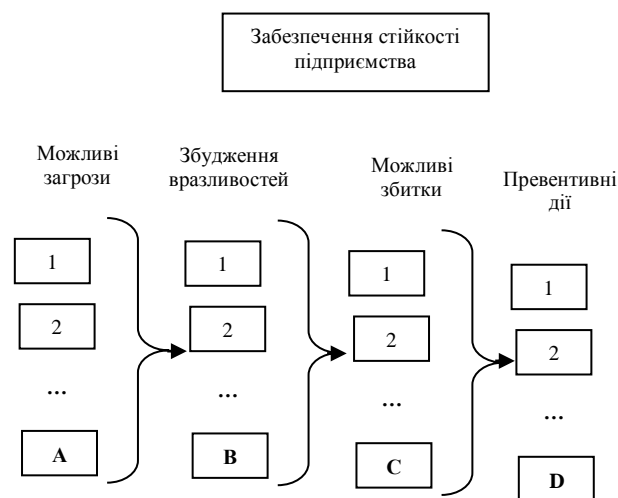


Рис. 1. Представлення ланцюга загроз

Множина можливих загроз та ризик їх виникнення формується фахівцями в галузі забезпечення стійкості підприємства та залучає такі загрози:

- політичні;
- економічні;
- кліматичні;
- терористичні;
- військові.

Можливі вразливості, які збуджуються при виникненні загроз, формуються менеджментом конкретного підприємства. До типових вразливостей функціонування високотехнологічного підприємства можна віднести:

- стара технологія виробництва, енергомістке обладнання;
- погана забезпечуюча інфраструктура (подача енергії, газу, води, тощо);
- вразливі ланцюги постачання (довгі ланцюги, застаріла транспортна система, використання різно-рідних транспортних шляхів з перевалками вантажів, тощо);

- застарілі менеджмент та системи управління, які не можуть швидко реагувати на появу загроз;
- відсутність кваліфікованого персоналу для коректного реагування на загрози.

Величина можливих збитків залежить від рівня загроз, кількості вразливостей підприємства та оцінюється експертами в галузі надзвичайних ситуацій на техногенних об'єктах. Планування превентивних дій щодо забезпечення стійкості високотехнологічного підприємства залежить від обмежених можливостей підприємства, його економічного стану та своєчасності прогнозування виникнення та прояви загроз.

Імітаційна модель створена за допомогою агентів на платформі AnyLogic та залучає наступні агенти (рис. 2):

1. Генератор загроз. Можливі загрози та вірогідність їх виникнення.
2. Генератор вразливостей. Для кожної загрози формується можливі вразливості та вірогідність їх збудження при виникненні загрози.
3. Агент збитків. Величина збитків залежить від вразливостей, які збуджуються при прояві загроз.
4. Агент превентивних дій. Витрати на превентивні дії залежать від величини можливих збитків та ризику появи загроз.
5. Агент статистики. Формується статистика за кожною загрозою, яка виникла в процесі моделювання (частота прояви загрози, збитки від загрози, витрати на превентивні дії).
6. Агент управління. Управління агентами 1-5, планування подій у часі.

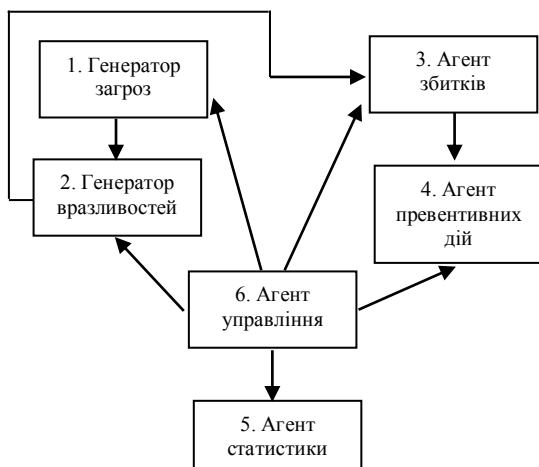


Рис. 2. Структурна схема агентної імітаційної моделі

Моделювання проводиться багаторазово та результати статистично усереднюють.

## Висновки

Проведене дослідження пов'язане з моделюванням забезпечення стійкості високотехнологічних виробництв до виникнення загроз в умовах турбулентності глобальної економіки. Проведено аналіз можливих загроз та наслідків їх виникнення. Для забезпечення стійкості та надійності функціонування високотехнологічного підприємства, сформовані напрямки превентивних дій в умовах обмежених можливостей підприємства. Створено оптимізаційна модель для оцінки витрат підприємства щодо забезпечення його стійкості на прикладі оцінки витрат на релокацію підприємства. Розроблено модель для вибору нових постачальників та ланцюгів постачання при диверсифікації множини постачальників. Для оцінки можливих постачальників використовується наступні показники:

- кількість необхідних комплектуючих для виконання планів виробництва;
- час на постачання;
- якість комплектуючих;
- ризики постачання.

Створено імітаційну модель для оцінки впливу можливих загроз на стійкість підприємства. Проведено агентне моделювання ланцюга: загроза – вразливості – збитки – превентивні дії для забезпечення стійкості.

Використані наступні математичні методи та моделі: системний аналіз, цілочисельна оптимізація, експертне оцінювання варіантів, імітаційне моделювання, агентне моделювання.

Запропонований підхід дозволяє аналізувати стійкість високотехнологічного підприємства до виникнення загроз, виявляти критичні вразливості високотехнологічного виробництва, оцінювати можливі збитки від прояви загроз, планувати превентивні дії для забезпечення стійкості підприємства.

**Внесок авторів:** системне представлення стійкості високотехнологічного підприємства – **О. Є. Федорович**, моделювання витрат щодо забезпечення стійкості підприємства – **О. В. Сломчинський**, моделювання логістики диверсифікації постачальників – **А. В. Єлізева**, комп'ютерне моделювання загроз – **Л. С. Смідович**, створення агентної моделі – **О. С. Яшина**.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

## Література

1. Мелёхин, В. Б. Теоретические аспекты эффективного управления поведением социально-

экономических объектов в нестабильной окружающей среде [Електронний ресурс] / В. Б. Мелёхин, Н. Ш. Шихалиева // Интернет журнал «Науковедение». – 2014. – Вып. 4 (23), – Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/116EVN414.pdf>. – 11.02.2023.

2. Lindgren, M. Scenario planning. The Link Between Future and Strategy [Text] / M. Lindgren, H. Bandhold. – Palgrave Macmillan London, 2003. – 180 p. ISBN 978-0-230-51162-0. DOI: 10.1057/9780230511620.

3. Yampolskii, S. M. A situational approach to the management of organizational and technical systems in the planning of operations [Text] / S. M. Yampolskii, A. N. Kostenko // High technology in space research of the Earth. – 2016. – Vol. 8, Iss. 2. – P. 62–69.

4. A methodology to estimate resilience of manufacturing plants [Електронний ресурс] / Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge, Paolo Salini. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319311802>. – 11.02.2023.

5. Intelligent Energy Systems as Enabler for Increased Resilience of Manufacturing Systems [Електронний ресурс] / Dennis Bauer, Can Kaymakci, Thomas Bauernhansl, Alexander Sauer – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121009355>. – 11.02.2023.

6. Increased resilience for manufacturing systems in supply networks through data-based turbulence mitigation [Електронний ресурс] / Dennis Bauer, Markus Böhm, Thomas Bauernhansl & Alexander Sauer – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11740-021-01036-4>. – 11.02.2023.

7. Федорович, О. Є. Дослідження логістики управління виробництвом високотехнологічної продукції віртуального підприємства [Текст] / О. Є. Федорович, О. В. Сломчинський, В. А. Пуїденко // Авіаційно-космічна техніка та технологія. – 2018. – № 4. – С. 107-115. DOI: 10.32620/aktt.2018.4.13.

8. Малєєва, О. В. Управління логістичними процесами розподіленого виробництва : моногр. [Текст] / О. В. Малєєва, І. О. Гончар, А. В. Єлізева. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2016. – 186 с.

9. Bauer, D. Improvement of Delivery Reliability by an Intelligent Control Loop between Supply Network and Manufacturing [Електронний ресурс] / Dennis Bauer, Thomas Bauernhansl, Alexander Sauer – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/5/2205>. – 11.02.2023.

10. Федорович, О. Є. Системне моделювання стратегічних цілей підприємства, що розвивається в умовах обмежених можливостей [Текст] / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков // Авіаційно-

космічна техніка і технологія. – 2020. – № 2. – С. 53-60. DOI: 10.32620/aktt.2020.2.08.

11. Федорович, О. Є. Управління модернізацією підприємства, що розвивається в умовах короткострокової перспективи [Текст] / О. Є. Федорович, В. В. Косенко, Ю. Л. Прончаков // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2020. – № 1. – С. 90-96.

12. System modeling of goals and directions in projects of innovative development of high-tech enterprise [Text] / O. E. Fedorovich, O. S. Uruskyi, V. V. Kosenko, Yu. L. Pronchakov // Information systems and innovative technologies in project and program management. Collective monograph edited by I. Lindle, I. Chumachenko, V. Timofeyev. – Riga : ISMA, 2020. – P. 39-53.

13. Прончаков, Ю. Л. Обґрунтування та вибір напряму розвитку підприємства для поліпшення якості продукції, яка випускається [Текст] / Ю. Л. Прончаков, Ю. О. Леценко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2015. – № 3 (73). – С. 96 – 100.

14. Федорович, О. Є. Метод та моделі вибору траєкторії руху підприємства, що розвивається до найближчої цілі реформування [Текст] / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2020. – Вип. 2. – С. 40-43.

15. Федорович, О. Є. Вибір напрямку реформування організації в проектному системному управлінні розвитком [Текст] / О. Є. Федорович, С. Ю. Данишина // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2020. – № 4. – С. 83-89. DOI: 10.32620/aktt.2020.4.10.

16. Романенков, Ю. А. Оптимізаційний механізм вибору стратегій підвищення конкурентоспроможності організації [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, Т. Р. Зейнієв // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2014. – № 4 (68). – С. 150 – 156.

17. Pawluczuk, Ju. К проблеме управления производственными ресурсами предприятия [Текст] / Ju Pawluczuk // Zarządzanie : Teoria i praktyka. – 2011. – № 1(3). – С. 17-26.

18. Федорович, О. Є. Моделювання впливу факторів загроз і вразливостей у логістиці перевезень підприємства, що розвивається [Текст] / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков, Ю. О. Леценко, А. В. Єлізева // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2021. – № 3. – С. 29-36. DOI: 10.32620/reks.2021.3.03.

19. Прончаков, Ю. Л. Забезпечення вимог якості виробництва високотехнологічної продукції у проектах модернізації підприємства, що розвивається [Текст] / Ю. Л. Прончаков, Ю. О. Леценко //

Авіаційно-космічна техніка та технологія. – 2015. – № 5. – С. 92-98.

20. Федорович, О. Є. Моделювання бізнес-процесів підприємства, що розвивається, для створення складних виробів з багаторівневою компонентною архітектурою [Текст] / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков, А. В. Єлізева, Ю. О. Леценко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2021. – № 4. – С. 79-86. DOI: 10.32620/akt.2021.4.11.

21. Соціально-економічний та технічний розвиток підприємств: проблеми рішення, оцінка ефективності [Текст] : моногр. / М. В. Адаменко, В. М. Вартамян, Т. Г. Зейнієв, Ю. О. Романенков, за ред. Л. М. Савчук. – Дн. : Пороги, 2016. – 553 с.

22. Concept for Increasing the Resilience of Manufacturing Companies [Електронний ресурс] / J. Tittel, M. Kuhn, M. Riesener & G. Schuh. – Режим доступу: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18318-8\\_75](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18318-8_75). – 11.02.2023.

23. Caputo, Antonio Casimiro. Estimating Resilience of Manufacturing Plants: Model and Application [Електронний ресурс] / Antonio Casimiro Caputo, Lorenzo Donati, Paolo Salini – Режим доступу: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4352124](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4352124). – 11.02.2023.

## References

1. Mel'okhin, V. B., Shykhaliyeva N. SH. Teoreticheskiye aspekty effektivnogo upravliniya povedinyu sotsial'no-ekonomichnykh ob'yektiv v nestabil'nomu navkolysht'nomu seredovyshchi [Theoretical aspects of effective management of the behavior of socio-economic objects in an unstable environment]. *Internet zhurnal «Naukozhnavstvo»*, 2014, vol. 4 (23). Available at: <https://naukovedeni.ru/PDF/116EVN414.pdf>. (accessed 11.02.2020).

2. Lindgren, M. & Bandhold, H. *Scenario planning. The Link Between Future and Strategy*. Palgrave Macmillan London, 2003. 180 p. ISBN 978-0-230-51162-0. DOI: 10.1057/9780230511620.

3. Yampolskii, S. M. & Kostenko, A. N. A situational approach to the management of organizational and technical systems in the planning of operations. *High technology in space research of the Earth*, 2016, vol. 8, iss. 2, pp. 62–69.

4. Caputo, Antonio C., Pelagagge, Pacifico M. & Paolo, Salini. A methodology to estimate resilience of manufacturing plants. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319311802>. (accessed 11.02.2020).

5. Bauer, D., Kaymakci, C., Bauernhansl, T. & Sauer, A. *Intelligent Energy Systems as Enabler for Increased Resilience of Manufacturing Systems*. Available

at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121009355>. (accessed 11.02.2020).

6. Bauer, D., Böhm, M., Bauernhansl, T. & Sauer, A. *Increased resilience for manufacturing systems in supply networks through data-based turbulence mitigation*. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11740-021-01036-4>. (accessed 11.02.2020).

7. Fedorovich, O. Ye., Slomchyns'kyi, O. V. & Puydenko, V. A. Doslidzhennya lohistyky upravlinya vyrobnytstvom vysokotekhnolohichnoyi produktsiyi virtual'noho pidpryyemstva [Study of the logistics of managing the production of high-tech products of a virtual enterprise]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2018, no. 4, pp. 107-115. DOI: 10.32620/akt.2018.4.13.

8. Malyeyeva, O. V., Honchar, I. O. & Yelizyeva, A. V. *Upravlinn lohistychnymy protsesamy rozpodileno vyrobnytstva* [Management of logistic processes of distributed production]. Kharkiv. KHAI Publ., 2016. 186 p.

9. Bauer, D., Bauernhansl, T. & Sauer, A. *Improvement of Delivery Reliability by an Intelligent Control Loop between Supply Network and Manufacturing*. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/5/2205>. (accessed 11.02.2020).

10. Fedorovich, O. Ye. & Pronchakov, Yu. L. Systemne modelyuvannya stra-tehichnykh tsiley pidpryyemstva, shcho rozvyvayet'sya v umovakh obmezhenykh mozhlyvostey [System modeling of strategic goals of an enterprise that develops in conditions of limited opportunities]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2020, no. 2, pp. 53-60. DOI: 10.32620/akt.2020.2.08.

11. Fedorovich, O. Ye., Kosenko, V. V. & Pronchakov, Yu. L. Upravlinnya modernizatsiyeyu pidpryyemstva, shcho rozvyvayet'sya v umovakh korotkostrokovoyi perspektyvy [Management of the modernization of the enterprise developing in the conditions of a short-term perspective] *Suchasnyy stan naukovykh doslidzhen' ta tekhnolohiy v promyslo-vosti*, 2020, no. 1, pp. 90-96.

12. Fedorovich, O. E., Uruskyi, O. S., Kosenko, V. V. & Pronchakov, Yu. L. System modeling of goals and directions in projects of innovative development of high-tech enterprise. *Information systems and innovative technologies in project and program management*, 2020, pp. 39-53.

13. Pronchakov, Yu. L. & Leshchenko, Yu. O. Obgruntuvannya ta vybir napryamu rozvytku pidpryyemstva dlya polipshennya yakosti produktsiyi, yaka vypuskayet'sya [Justification and choice of direction of enterprise development to improve the quality of products produced]. *Radioelektronni i komp'uterni*

sistemi – *Radioelectronic and computer systems*, 2015, no. 3 (73), pp. 96-100.

14. Fedorovych, O. Ye., Pronchakov, Yu. L. Metod ta modeli vyboru trayektoriyi rukhu pidpryyemstva, shcho rozvyvayet'sya do nayblyzhchoyi tsili reformuvannya [Method and models for choosing the trajectory of an enterprise developing towards the nearest goal of reform]. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku*, 2020, vol. 2, pp. 40-43.

15. Fedorovych, O. Ye. & Danshyna, S. Yu. Vybira napryamku reformuvannya orhanizatsiyi v proektnomu systemnomu upravlinni rozvytkom [Choosing the direction of reforming the organization in project system development management]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2020, no. 4, pp. 83-89. DOI: 10.32620/aktt.2020.4.10.

16. Romanenkov, Yu. A., Vartanyan, V. M. & Zeyniyev, T. R. Optyimizatsiynyy mekhanizm vyboru stratehiy pidvyshchennya konkurentospromozhnosti orhanizatsiyi [Optimization mechanism for choosing strategies to increase the competitiveness of the organization]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2014, no. 4 (68), pp. 150 – 156.

17. Pawluczuk, Ju. K проблеме управления производственными ресурсами предприятия [To the problem of management of production resources of the enterprise]. *Zarządzanie : Teoria i praktyka*, 2011, no. 1(3), pp. 17-26.

18. Fedorovych, O. Ye., Pronchakov, Yu. L., Leshchenko, Yu. O. & Yelizyeva, A. V. Modelyuvannya vplyvu faktoriv zahroz i vrazlyvostey u lohistytsi perevezen' pidpryyemstva, shcho rozvyvayet'sya [Modeling the influence of threat factors and vulnerabilities in logistics of transportation of a developing enterprise]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2021, no. 3, pp. 29-36. DOI: 10.32620/reks.2021.3.03.

19. Pronchakov, Yu. L., Leshchenko Yu. O. Zabezpechennya vymoh yakosti vyrobnytstva vt-sokotekhnolohichnoyi produktsiyi u proektakh moderniatsiyi pidpryyemstva, shcho rozvyvayet'sya [Ensuring quality requirements for the production of high-tech products in modernization projects of a developing enterprise]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2015, no. 5, pp. 92-98.

20. Fedorovych, O. Ye., Pronchakov, Yu. L., Yelizyeva, A. V. & Leshchenko, Yu. O. Modelyuvannya biznes-protsesiv pidpryyemstva, shcho rozvyvayet'sya, dlya stvorenniya skladnykh vyrobiv z bahatorivnevoyu komponentnoyu arkhitekturoyu [Modeling business processes of a developing enterprise for the creation of complex products with multi-level component architecture]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2021, no. 4, pp. 79-86. DOI: 10.32620/aktt.2021.4.11.

21. Adamenko, M. V., Vartanyan, V. M., Zeyniyev, T. H. & Romanenkov, Yu. O. *Sotsial'no-ekonomichnyy ta tekhnichnyy rozvytok pidpryyemstv: problemy rishennya, otsinka efektyvnosti* [Socio-economic and technical development of enterprises: solution problems, evaluation of effectiveness]. Dnipro, Porohy Publ., 2016. 553 p.

22. Tittel, J., Kuhn, M., Riesener, M. & Schuh, G. *Concept for Increasing the Resilience of Manufacturing Companies*. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18318-8\\_75](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18318-8_75). (accessed 11.02.2020).

23. Caputo, A. C., Donati, L. & Salini, P. *Estimating Resilience of Manufacturing Plants: Model and Application*. Available at: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4352124](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4352124). (accessed 11.02.2020).

Надійшла до редакції 14.02.2023, розглянута на редколегії 08.08.2023

## MODELS FOR STUDYING THE STABILITY OF HIGH-TECH PRODUCTIONS IN MODERN POLITICAL AND ECONOMIC CONDITIONS

*Oleg Fedorovych, Oleg Slomchynskyi, Alina Yelizyeva,  
Leonid Smidovych, Elena Yashina*

The task of studying the stability of high-tech enterprises (aviation, space, engineering industry) to the manifestation of threats and the occurrence of losses (economical, technological, etc.) is formed and solved. The relevance of this study is connected with the increasing risks that arise in the external environment and lead to the degradation of high-tech enterprises. The risks of functioning and development of high-tech enterprises connected with modern political and economic threats and the consequences of war are analyzed. It is concluded that the stability of high-tech production is one of the actual problems of restoring the country's economy in the post-military period. Therefore, the topic of the proposed article is relevant, which explores possible ways to ensure the resilience of high-tech enterprises in the conditions of the turbulence of the world economy and the difficulties that arose as a result of the martial law of the country. An analysis of the direct security of the sustainability of high-tech enterprises in the post-military period is carried out. The possible expenses for the security and stability of the enterprise in



the conditionals of the risks of causing possible threats (political and economic, climate, terrorist, military) are modeled. A model for the study of logistics processes, the formation of new supply chains of components, in the event of a delivery disruption, has been created. The expenses of restoring the supporting infrastructure of the enterprise because of the consequences of martial law and the aggressor's actions are analyzed. The process of relocation (evacuation) of enterprises to new places is modeled as an example of ensuring the sustainability of enterprises during the war period. A simulation model is created to study the impact of threats and the emergence of expenses, to adopt preventive measures to ensure the sustainability of an enterprise. The scientific novelty of this study is connected with the development of a set of models that help to directly study the stability of high-tech enterprises to contemporary challenges and threats. The results of the research can be useful for modeling preventive action plans before the appearance of threats and expenses that improve the stability and reliability of the functioning of high-tech enterprises.

**Keywords:** stability of an enterprise; threats to enterprise functioning; excitation of vulnerabilities; occurrence of losses; preventive measures; modeling of threats.

**Федорович Олег Євгенович** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Сломчинський Олег Вікторович** – канд. техн. наук, старш. викл. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Слізєва Аліна Володимирівна** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Смідович Леонід Сергійович** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Яшина Олена Сергіївна** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Oleg Fedorovych** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.fedorovych@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7883-1144.

**Oleg Slomchynskyi** – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: ovs1228@gmail.com.

**Alina Yelizieva** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.elizeva@khai.edu, ORCID: 0000-0002-8228-9383.

**Leonid Smidovych** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: lsonlinels@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6156-9506.

**Elena Yashina** – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Technology, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.yashina@khai.edu, ORCID: 0000-0003-2459-1151.