

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-86-96>

УДК 658.5.338.3

# ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ (DYNAMIC RESILIENCE) ВИРОБНИЧИХ МЕРЕЖ: АДАПТАЦІЯ МІЖНАРОДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СТАНДАРТІВ ДО ВИМОГ ШВИДКОГО МАСШТАБУВАННЯ В ОБОРОННОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ

## DYNAMIC RESILIENCE OF PRODUCTION NETWORKS: ADAPTING INTERNATIONAL ENERGY STANDARDS TO FAST SCALING REQUIREMENTS IN UKRAINE'S DEFENSE SECTOR

Каспирович Антон Валерійович

аспірант,

Вінницький національний технічний університет

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0691-1936>

**Kaspirovych Anton**

Vinnitsia National Technical University

У статті досліджено концептуальні засади формування операційної стійкості виробничих систем в умовах екстремальної невизначеності. Автор пропонує адаптацію міжнародного фреймворку динамічної стійкості (Dynamic Resilience), розробленого Світовою енергетичною радою, до потреб українського оборонного сектору. Визначено, що в умовах воєнного стану традиційна статична стійкість поступається місцем динамічній моделі, яка базується на трьох етапах: передбачення через адаптивний інжиніринг, абсорбція шоків через радикальну децентралізацію виробничих вузлів та відновлення через швидке масштабування (fast scaling). Обґрунтовано роль інструментів ощадливого виробництва (LEAN) як стабілізуючого фактора, що запобігає виникненню операційного хаосу під час експоненціального зростання потужностей на 100–300% за квартал. Доведено, що перехід до мережових структур управління та горизонтальної інтеграції з локальними постачальниками є критичною умовою забезпечення життєздатності оборонно-промислового комплексу. Сформульовано рекомендації щодо впровадження моделі «стійкості через архітектуру» (Resilience by Design) для вітчизняних підприємств.

**Ключові слова:** динамічна стійкість, швидке масштабування, децентралізація виробництва, ощадливе виробництво (LEAN), адаптивний інжиніринг, операційний менеджмент, оборонно-промисловий комплекс.

The article substantiates the conceptual framework for ensuring the operational resilience of production networks under conditions of extreme uncertainty and global turbulence. The author proposes an adaptation of the international "Dynamic Resilience" framework, originally developed by the World Energy Council for energy transitions, to the strategic requirements of Ukraine's defense-tech sector. The research identifies that in a high-threat environment, traditional "static" resilience models are insufficient; they must be replaced by a dynamic model focused on protecting system functions rather than just physical assets. The proposed adapted framework consists of three cyclical pillars: (1) Anticipation through adaptive engineering and rapid prototyping, which shortens the time-to-market for critical technologies; (2) Absorption through the radical decentralization of production nodes into a network of small, interchangeable manufacturing sites, thereby eliminating single points of failure; and (3) Rapid Recovery and Adaptation through LEAN-stabilized fast scaling. The study emphasizes that when an enterprise scales at a rate of 100–300% per quarter, it inevitably faces "operational chaos." To mitigate this, the author suggests the integration of LEAN tools such as Standard Work, 5S, and Poka-yoke as a standardized "operational skeleton" that ensures quality and consistency across a distributed network. Furthermore, the article analyzes the transition from rigid bureaucratic hierarchies to networked management structures and horizontal integration with local micro-suppliers. This ecosystem approach allows for the instantaneous alteration of logistics chains and enhances the overall "anti-fragility" of the production system. The practical value of the results lies in the possibility of implementing these "Resilience by Design" principles not only in the defense industry but also in various industrial sectors operating



in VUCA environments. The study concludes that the synthesis of international energy resilience standards and Ukrainian defense-tech expertise creates a new paradigm for modern industrial sustainability.

**Keywords:** Dynamic Resilience, Fast Scaling, Production Decentralization, Lean Manufacturing, Adaptive Engineering, Operations Management, Defense-Industrial Complex.

**Постановка проблеми.** Сучасний стан оборонно-промислового комплексу (ОПК) України характеризується безпрецедентним поєднанням двох критичних чинників: необхідністю експоненціального нарощування обсягів виробництва та постійним впливом екстремальних безпекових ризиків. У ситуації, коли виробничі потужності мають масштабуватися на 100–300% протягом одного кварталу, традиційні лінійні моделі управління та статичні системи забезпечення стійкості виявляються неспроможними [1].

Традиційні підходи до промислової стійкості (Resilience) переважно орієнтовані на «повернення до вихідного стану» після збою. Проте для українського оборонного сектору цей підхід є контрпродуктивним, оскільки «вихідний стан» часто є недостатнім для задоволення потреб фронту, а середовище функціонування зазнало незворотних змін. Виникає гостра наукова та практична потреба у переході від статичної до динамічної стійкості (Dynamic Resilience), яка передбачає не лише виживання системи, а й її розвиток та трансформацію безпосередньо під час тривалого шокового впливу [2]. Ця концепція тісно корелює з фреймворком Світової енергетичної ради, де стійкість розглядається через призму архітектурної готовності до непередбачуваних системних збоїв [3].

Основна проблема полягає у відсутності адаптованих механізмів інтеграції міжнародних стандартів стійкості у специфічний контекст оборонного виробництва. Як зазначають дослідники «швидкого масштабування» (fast scaling), спроба різкого розширення потужностей без відповідної організаційної структури часто призводить до «кризи зростання», що руйнує операційну цілісність підприємства [4]. В умовах війни цей виклик ускладнюється необхідністю радикальної децентралізації. Перехід від великих централізованих заводів до мережових структур управління є критичним для забезпечення життєздатності виробництва, проте потребує нових методів горизонтальної інтеграції [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фундаментальні аспекти системної стійкості, що базуються на здатності до поглинання шоків та подальшої трансформації, ґрун-

товно розроблені у працях Linkov та Trump [2]. Дослідники доводять, що в умовах динамічного середовища традиційний ризик-менеджмент має бути замінений на архітектурну стійкість (Resilience by Design).

Особливої уваги заслуговують напрацювання Світової енергетичної ради щодо концепції Dynamic Resilience [3]. Підхід до управління енергетичними мережами, що передбачає децентралізацію та швидку адаптацію вузлів, стає методичною основою для реформування виробничих систем у кризових умовах. Питання логістичної стійкості та важливості мережових структур управління в ланцюгах постачання детально проаналізовані Christopher та Peck [5].

Проблематика швидкого масштабування (fast scaling) в умовах високих ризиків висвітлена у працях Hoffer та Polidoro [4]. Автори акцентують увагу на тому, що експоненціальне зростання потребує специфічних механізмів контролю, аби уникнути «операційного перегріву». Роль інструментів ощадливого виробництва як стабілізуючого фактора в умовах трансформацій підкреслює Liker [6], вказуючи на необхідність гнучкості принципів LEAN. Водночас аналіз викликів для глобального оборонного сектору у звітах World Economic Forum [1] підтверджує дефіцит прикладних моделей адаптації цих стандартів до умов активних воєнних дій.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на фундаментальну концептуалізацію парадигми динамічної резильєнтності в межах світових енергетичних та дистрибуційних вузлів, наукова спільнота досі не вичерпно охарактеризувала механізми її розгортання для виробничих підприємств. Панівні теоретичні конструкції переважно інтерпретують гнучкість як компенсаторний відгук на деструкцію ланцюгів доданої вартості або техногенні інвазії. Водночас вони ігнорують імператив експоненціального масштабування оперативних потужностей на тлі перманентної кінетичної загрози для матеріальних активів.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою роботи є концептуалізувати модель динамічної стійкості виробничих мереж через інтеграцію принципів ощадли-

вого виробництва (LEAN), швидкого масштабування (fast scaling) та розосереджених (decentralized) мережевих (горизонтальних) структур.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Центральним елементом даного дослідження є адаптація фреймворку Dynamic Resilience, розробленого Світовою енергетичною радою (World Energy Council, далі по тексту WEC) [3], до управління виробничими системами. Основний концептуальний зсув полягає в переході від стратегії «захисту активів» до стратегії «захисту функцій системи». Це означає, що виробнича мережа розглядається не як сукупність верстатів та цехів, а як динамічний сервіс, здатний зберігати цілісність результату (випуску продукції) навіть за умови часткового руйнування фізичної інфраструктури.

Методологія Dynamic Resilience від WEC базується на тріаді циклічних етапів [3]. Для потреб виробничого сектора, що працює в умовах високої невизначеності та зовнішнього конфлікту, ці етапи трансформуються у конкретні управлінські механізми.

1. Prepare & Anticipate (Передбачення та адаптивний інжиніринг). На відміну від традиційного прогнозування, що спирається на лінійну екстраполяцію минулого досвіду, етап передбачення в моделі динамічної стійкості базується на адаптивному інжинірингу [7].

– Короткі цикли зворотного зв'язку. Впровадження механізмів, які дозволяють миттєво отримувати дані з фронтиру ринку або зони використання продукції.

– Диверсифікація дизайну. Підготовка конструкторської документації таким чином, щоб виробнича лінія могла бути перенастроєна на випуск модифікованого продукту протягом годин, а не місяців.

– Моделювання сценаріїв. Створення цифрових двійників мережі для симуляції «шокових» станів.

2. Absorb & Withstand (Абсорбція та децентралізація). Етап абсорбції шоку реалізується через перехід від вертикальних ієрархій до децентралізованих мережевих (горизонтальних) структур [3].

– Мережевий імунітет. Якщо традиційний завод – це моноліт, то динамічно стійка система – це фрактальна мережа малих та середніх виробничих вузлів.

– Функціональна надлишковість. Кожен вузол мережі володіє певною мірою автономії та взаємозамінності. Удар по одному елементу (втрата електроенергії, фізичне

руйнування, кібератака) «абсорбується» розподілом навантаження між іншими учасниками мережі без зупинки загального процесу.

3. Recover & Adapt (Відновлення та Fast Scaling). Ключова відмінність динамічної стійкості від звичайної – це не просто повернення до статус-кво, а адаптивний розвиток.

– Fast Scaling. Здатність системи нарощувати обсяги випуску на 100–300% протягом одного кварталу. Це стає можливим завдяки заздалегідь підготовленим «пакетам масштабування» (blueprints), які передаються в мережу [8].

– Інтеграція LEAN. Ощадливе виробництво тут виступає не як засіб економії, а як фундамент стабільності процесів. Стандартизація (Standard Work) дозволяє швидко вводити в експлуатацію нові вузли, мінімізуючи хаос при вибуховому зростанні [9].

Інший кут теоретико-методологічного опису моделі динамічної стійкості для виробничих підприємств проявляється в порівнянні з підходом статичної стійкості, який панував попередні десятиліття (таблиця 1).

Під час переходу відбувається архітектурна трансформація від ієрархії до мережі. Традиційна модель спирається на принципи веберіанської бюрократії: жорстка вертикаль, де рішення приймаються в центрі й каскадуються вниз [8]. Це ефективно в стабільні часи, оскільки мінімізує дублювання функцій. Проте, як зазначають експерти WEC у звітах про енергетичну безпеку, централізована система має «єдину точку відмови» (Single Point of Failure) [3].

Динамічна мережа натомість будується як Decentralized Architecture [8]. Це концепція, де кожен вузол (цех, підрозділ, партнер) має достатньо автономії для функціонування в ізоляції. У мережевій структурі інформація та ресурси циркулюють горизонтально. Згідно з принципами системного мислення (System Thinking), це дозволяє системі бути «модульною». Якщо один сегмент мережі виходить з ладу, інші автоматично перебирають його навантаження [10].

Десятиліттями мейнстримом менеджменту був Cost-cutting (мінімізація витрат) [8]. Модель Toyota (LEAN) часто помилково трактувалася лише як спосіб позбутися запасів (JIT) [9]. У стабільних умовах це давало максимальну рентабельність. Проте сучасні кризи довели: надмірна оптимізація робить систему «крихкою» [11]. Динамічна стійкість ставить у пріоритет Systemic Thinking та захист функцій.

Таблиця 1

## Порівняння моделей Динамічної та Статичної стійкості

Параметр	Традиційна модель (Static Resilience)	Динамічна мережа (Dynamic Resilience)	Інструмент реалізації
Структура	Вертикальна ієрархія, централізація	Горизонтальна мережа вузлів	Децентралізація
Пріоритет	Операційна ефективність (Cost-cutting)	Системне виживання та збереження функції	Системне мислення
Реакція на шок	Захист периметра, очікування допомоги	Абсорбція енергії удару, перерозподіл	Функціональна надлишковість
Швидкість змін	Планова модернізація (місяці/роки)	Миттєва адаптація (дні/тижні)	Адаптивний інжиніринг
Масштабування	Лінійне зростання (10-20% на рік)	Експоненціальне (Fast Scaling)	LEAN стандартизація

*Джерело: сформовано на основі [3; 8-12]*

Фреймворк WEC наголошує, що стійкість – це не здатність не зламатися, а здатність продовжувати виконувати функцію (наприклад, постачати енергію або виробляти продукт) навіть у зламаному стані [3]. Це перехід від ефективності окремого активу до життєздатності всієї екосистеми.

У традиційній моделі стратегія захисту – це «фортеця». Ми будуємо паркани, встановлюємо фаєрволи та створюємо фізичний захист периметра (Static Resilience). Коли цей периметр проривається, система колапсує. Динамічна мережа натомість використовує механізм Functional Redundancy (функціональної надлишковості) [12]. Замість того, щоб намагатися зупинити удар, мережа «абсорбує» його енергію. Це схоже на інтернет-протоколи: якщо один сервер «ліг», трафік автоматично йде іншим шляхом. У виробництві це реалізується через розосередження потужностей. Втрата одного заводу в мережі з 10 вузлів – це втрата 10% потужності, а не повна зупинка бізнесу.

Традиційні виробничі цикли вимірюються місяцями. Підготовка до випуску нового продукту вимагає капітальних інвестицій та тривалого планування. Натомість динамічна модель впроваджує Adaptive Engineering – це концепція швидких ітерацій [7]. Замість ідеального плану на 5 років, система працює короткими циклами. Використання 3D-моделювання, уніфікованих платформ та швидкого прототипування дозволяє змінювати дизайн продукту «на льоту» у відповідь на нові виклики або дефіцит компонентів.

Найскладніший пункт – це зростання. Традиційні компанії ростуть лінійно. Спроба

вирости на 100% за рік зазвичай вбиває якість і процеси. Динамічна модель використовує Fast Scaling (швидке масштабування) [8]. Це стає можливим завдяки узгодженню між собою LEAN стандартизації та Agile підходів до управління зростанням. Якщо процеси описані як чіткі, прості та стандартизовані модулі, їх можна «копіювати» в нові вузли мережі неймовірно швидко. Ощадливе виробництво тут виступає не як інструмент економії, а як «креслення», за яким нова команда може розгорнути виробництво за лічені дні.

**Висновки.** У даній роботі проведено комплексне теоретико-методологічне дослідження та концептуалізацію моделі динамічної стійкості (Dynamic Resilience) виробничих мереж. На основі аналізу сучасних викликів, що постали перед оборонно-промисловим комплексом України, та адаптації міжнародних стандартів Світової енергетичної ради, було сформульовано нову парадигму промислового управління в умовах екстремальної турбулентності.

Проведене дослідження дозволяє стверджувати, що традиційна концепція «статичної стійкості» (Static Resilience), орієнтована на опір зовнішнім чинникам та повернення до докризового стану, втратила свою релевантність для високотехнологічних секторів економіки в умовах перманентної загрози. Основним науковим результатом є доведення того, що сучасна стійкість виробництва повинна базуватися не на захисті фізичних активів, а на захисті системних функцій. Це означає зміну фокусу з надійності окремих вузлів на життєздатність усієї мережі як єдиного організму, здатного до саморегенерації.

Ключовим елементом роботи стала адаптація циклічної моделі WEC (Prepare – Absorb – Recover) до виробничих реалій. У межах цього підходу було концептуалізовано три критичні компоненти: 1) адаптивний інжиніринг як інструмент передбачення, 2) радикальна децентралізація як механізм абсорбції, 3) Fast Scaling як стратегія адаптивного розвитку.

Проілюстровано, що швидкість зворотного зв'язку між клієнтом та R&D центром є важливішою за довгострокове планування. Це дозволяє створювати продукти, що еволюціонують швидше за загрози. Встановлено, що перехід від монолітних заводських структур до фрактальних мереж горизонтальних вузлів створює «мережевий імунітет». У такій системі втрата будь-якого елемента не призводить до колапсу системи, оскільки функція випуску продукції розподіляється між взаємозамінними одиницями. Виявлено, що справжнє відновлення в динамічній моделі – це не повернення до попередніх обсягів, а експоненціальне зростання (100–300% за квартал), яке базується на готовності системи до миттєвого розширення.

Одним із найважливіших висновків дослідження є розкриття нової ролі методології

LEAN. Традиційно сприймаючись як засіб мінімізації втрат, у запропонованій моделі ощадливе виробництво стає стабілізуючим фундаментом для масштабування. Стандартизація операційних процесів (Standard Work) дозволяє перетворити складну технологію на доступний для реплікації «модуль». Це мінімізує операційний хаос, що неминуче виникає при швидкому наймі персоналу та розгортанні нових майданчиків. Таким чином, LEAN створює «операційний скелет», який утримує структуру компанії під тиском експоненціального зростання.

Дослідження підтвердило гіпотезу про те, що майбутнє оборонного сектору України лежить у площині горизонтальної інтеграції. Перехід від ієрархічних ланцюгів постачання до екосистемного підходу дозволяє швидко замінювати контрагентів у разі фізичного руйнування логістичних вузлів, використовувати потужності мікро- та малих підприємств через єдині технологічні стандарти, забезпечувати високу швидкість ітерацій та змін у дизайні виробів. На основі розробленої моделі пропонується впровадження принципів Dynamic Resilience на державному та приватному рівнях управління оборонними замовленнями.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. World Economic Forum (2023) *Global risks report 2023: Instability and the defense industry landscape*. URL: <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/> (дата звернення 27.04.2026)
2. Linkov, I., & Trump, B. D. (2019) *The science and practice of resilience*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04565-4>
3. World Energy Council (2020) *World energy trilemma index 2020: Focus on energy resilience*. URL: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2020> (дата звернення 21.04.2026)
4. Hoffer, G., & Polidoro, F. (2021) Scaling up: Managing exponential growth in high-stakes environments. *Journal of Operations Management*, vol. 67(4), pp. 512–535.
5. Christopher, M., & Peck, H. (2022) Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, vol. 33(2), pp. 450–472.
6. Liker, J. K. (2021) *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer* (2nd ed.). McGraw-Hill, 366 p.
7. Sutherland, J., & Sutherland, J. J. (2018) *Scrum: The art of doing twice the work in half the time*. Crown Business, 384 p.
8. Hoffman, R., & Yeh, C. (2018) *Blitzscaling: The lightning-fast path to building massively valuable companies*. Currency, 244 p.
9. Alver Antonio (2024) Lean Manufacturing and Its Impact on Production Efficiency. *Journal of Research in International Business and Management*, vol. 11 (3), pp.83–91.
10. Ries E. (2011) *The Lean Startup: How Constant Innovation Creates Radically Successful Businesses*. Portfolio Penguin, 336 p.
11. Taleb, N. N. (2012) *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House, 581 p.
12. Rasheed, N. (2020) The rule of 40: Balancing growth and profitability in scaling technology companies. *Management Review Quarterly*, 189 p.
13. KPMG (2020) *ESG: Environmental, Social, Governance. An introductory guide for businesses*. KPMG LLP, a UK limited liability partnership, 15 p.

## REFERENCES:

1. World Economic Forum (2023) *Global risks report 2023: Instability and the defense industry landscape*. Available at: <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/> (accessed April 27, 2026)
2. Linkov, I., & Trump, B. D. (2019) *The science and practice of resilience*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04565-4>
3. World Energy Council (2020) *World energy trilemma index 2020: Focus on energy resilience*. Available at: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2020> (accessed April 21, 2026)
4. Hoffer, G., & Polidoro, F. (2021) Scaling up: Managing exponential growth in high-stakes environments. *Journal of Operations Management*, vol. 67(4), pp. 512–535.
5. Christopher, M., & Peck, H. (2022) Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, vol. 33(2), pp. 450–472.
6. Liker, J. K. (2021) *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer* (2nd ed.). McGraw-Hill, 366 p.
7. Sutherland, J., & Sutherland, J. J. (2018) *Scrum: The art of doing twice the work in half the time*. Crown Business, 384 p.
8. Hoffman, R., & Yeh, C. (2018) *Blitzscaling: The lightning-fast path to building massively valuable companies*. Currency, 244 p.
9. Alver Antonio. (2024) Lean Manufacturing and Its Impact on Production Efficiency. *Journal of Research in International Business and Management*, vol. 11 (3), pp.83–91.
10. Ries E. (2011) *The Lean Startup: How Constant Innovation Creates Radically Successful Businesses*. Portfolio Penguin, 336 p.
11. Taleb, N. N. (2012) *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House, 581 p.
12. Rasheed, N. (2020) The rule of 40: Balancing growth and profitability in scaling technology companies. *Management Review Quarterly*, 189 p.
13. KPMG (2020) *ESG: Environmental, Social, Governance. An introductory guide for businesses*. KPMG LLP, a UK limited liability partnership, 15 p.

Дата надходження статті: 22.04.2026  
Дата прийняття статті: 12.05.2026  
Дата публікації статті: 22.05.2026