УДК 005.21:658.5
JEL classification: L23, M11, D81
https://doi.org/10.31891/dsim-2026-16(47)

РАННЄ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВТРАТИ КЕРОВАНОСТІ У ФАЗІ ПЕРЕХОДУ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

КАСПІРОВИЧ Антон
аспірант кафедри фінансів та інноваційного менеджменту
Вінницький національний технічний університет
https://orcid.org/0009-0008-0691-1936
e-mail: a.kaspirovych@gmail.com
ЄПІФАНОВА Ірина
доктор економічних наук, професор, професор кафедри фінансів та інноваційного менеджменту
Вінницький національний технічний університет
https://orcid.org/0000-0002-0391-9026
e-mail: epifanovairene@gmail.com

Статтю присвячено розробленню інструментарію, який дає змогу застосовувати модель своєчасності запуску фази переходу між етапами життєвого циклу виробничого підприємства безпосередньо за даними управлінського обліку. Обґрунтовано, що наявні системи раннього попередження спираються переважно на фінансові показники, які фіксують кризу із запізненням, тоді як для фази переходу потрібні випереджальні нефінансові індикатори навантаження на систему управління. Запропоновано модель оцінювання навантаження системи управління, у якій індекс навантаження формується з п'яти показників управлінського обліку (одночасні проєкти змін, прострочення замовлень, понаднормова робота, плинність ключового персоналу, рекламації та зриви якості), нормованих на рівень нормального переходу, з груповими вагами за методом аналізу ієрархій, а горизонт колапсу оцінюється регресією оберненого навантаження. Розроблено модель раннього попередження, яка зіставляє навантаження зі спроможністю системи управління, згладжує коефіцієнт навантаження методом експоненційно зваженого ковзного середнього, класифікує стан переходу за трьома сигнальними зонами з визначеними управлінськими діями і прогнозує запас часу до виходу в критичні зони. Моделі реалізовано програмою «ФазаМонітор» і апробовано на даних трьох виробничих підприємств Вінниччини: двох діючих підприємств (21 квартал спостережень) і стартапу оборонного сектору. Встановлено, що керівники оцінюють навантаження передусім за його наслідками – зривами якості та строків (сумарна вага 0,58–0,72); чотири з шести кварталів втрати керованості припали на верхній квартиль індексу навантаження або настали безпосередньо після нього; три з чотирьох переходів виробництва на одному з підприємств завершено на піку навантаження, тобто запущено реактивно. Виявлено подієвий характер накопичення навантаження та розбіжність експертних і фактичних оцінок граничної спроможності, що визначає напрями уточнення моделі.

Ключові слова: фаза переходу, життєвий цикл підприємства, виробниче підприємство, навантаження системи управління, раннє попередження, метод аналізу ієрархій, EWMA, динамічна стійкість.

EARLY WARNING OF CONTROLLABILITY LOSS IN MANUFACTURING ENTERPRISE TRANSITIONS

KASPIROVYCH Anton, YEPIFANOVA Iryna
Vinnytsia National Technical University

The article develops tools that allow the model of timely launch of the transition phase between stages of a manufacturing enterprise's life cycle to be applied directly to management accounting data. It is argued that existing early warning systems rely mainly on financial indicators, which register a crisis with a delay, whereas the transition phase requires leading non-financial indicators of the load on the management system. A management load assessment model is proposed in which a load index is built from five management accounting indicators (concurrent change projects, overdue orders, overtime and unplanned work, turnover of key personnel, customer complaints and quality failures), normalised to the level of a normal transition and weighted by group judgements obtained with the analytic hierarchy process; the collapse horizon is estimated by regression of the inverse load. An early warning model is developed that compares the load with the capacity of the management system, smooths the load ratio with an exponentially weighted moving average, classifies the state of the transition into three signal zones with defined management actions and forecasts the time remaining before critical zones are reached. The models are implemented in the FazaMonitor software and tested on data from three manufacturing enterprises of the Vinnytsia region: two operating enterprises (21 quarters of observations) and a defence start-up. It is found that managers assess the load primarily by its consequences – quality and delivery failures (combined weight 0.58–0.72); four of the six quarters of controllability loss fell into the upper quartile of the load index or immediately followed it; three of the four production transitions at one of the enterprises were completed at peak load, i.e. launched reactively. The event-driven nature of load accumulation and the gap between expert and data-based estimates of the capacity limit are identified, which defines the directions for refining the model.

Keywords: transition phase, enterprise life cycle, manufacturing enterprise, management system load, early warning, analytic hierarchy process, EWMA, dynamic resilience.

Стаття надійшла до редакції / Received 14.10.2026
Прийнята до друку / Accepted 20.11.2026
Опубліковано / Published 26.11.2026

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons CC-BY 4.0

© КАСПІРОВИЧ Антон, ЄПІФАНОВА Ірина

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

В умовах воєнної економіки та прискореного технологічного оновлення тривалість етапів життєвого циклу українських виробничих підприємств скоротилася з років до кварталів: оборонні виробники змінюють продуктову лінійку, технологію і ланцюги постачання по кілька разів на рік. Переходи між етапами перестають бути винятковою подією, і саме у фазі переходу зосереджуються управлінські ризики – від зривів строків і якості до втрати керованості підприємством. Раніше авторами обґрунтовано виокремлення фази переходу як самостійного об'єкта управління та запропоновано економіко-математичну модель своєчасності її запуску, у якій складність переходу визначається відношенням накопиченого навантаження на систему управління до її спроможності [1]; згодом розроблено концепцію динамічної стійкості, яка пов'язує управлінські практики з параметрами цієї моделі [2]. Практичне застосування моделі, однак, обмежене тим, що її параметри – навантаження, горизонт колапсу, гранична спроможність – задавалися ілюстративно. Керівникові потрібен інструмент, який перетворює звичайні дані управлінського обліку на оцінку навантаження і сигнал про наближення до межі керованості раніше, ніж проблеми проявляться у фінансових результатах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Класичні моделі життєвого циклу організації – Л. Грейнера [3], І. Адізеса [4], Д. Міллера і П. Фрізена [5], а для виробничих підприємств – матриця «продукт – процес» Р. Хейса і С. Уілрайта [6] – описують етапи розвитку і кризи між ними, проте трактують перехід як подію (кризу, дисбаланс, «квантовий стрибок»), а не як керований процес з вимірюваними параметрами. На історичне зміщення уваги дослідників у бік змісту стадій, а не механізмів переходу між ними, вказував С. Хенкс [7]. Інженерія стійкості [8] і стандарт ISO 22316 [9] розглядають здатність організації передбачати збурення, поглинати їх і відновлюватися, а дослідження українських підприємств воєнного періоду [10; 11] підтверджують значущість цих здатностей для виживання бізнесу. Водночас ці підходи не пропонують кількісних порогів, за якими керівник може ухвалити рішення про запуск чи гальмування змін.

Системи раннього попередження в літературі розглядаються як складова антикризового управління підприємством. Л. Балаш, О. Бінерт і О. Лисюк [12] описують таку систему як послідовність етапів – від виявлення несприятливих змін до активізації заходів реагування, а О. Краузе, Н. Синькевич і Н. Юрик [13] наголошують на необхідності систематичної експрес-діагностики фінансово-економічного стану. Для перетворення якісних суджень керівників на кількісні ваги широко застосовують метод аналізу ієрархій Т. Сааті [14]: за бібліометричним аналізом П. Мадзіка і Л. Фалата [15], який охопив понад 35 тис. публікацій бази Scopus, він залишається одним із найпоширеніших інструментів підтримки рішень, а огляд С. Равата зі співавторами [16] і дослідження О. Усикової [17] підтверджують його придатність для задач оцінювання на підприємствах. Для раннього виявлення поступових зсувів у виробничих і бізнес-процесах у статистичному управлінні процесами використовують експоненційно зважене ковзне середнє (EWMA) [18; 19].

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Наявні системи раннього попередження спираються переважно на фінансові показники, які фіксують кризу вже після того, як вона позначилася на результатах діяльності. Невирішеними залишаються питання вимірювання навантаження на систему управління за нефінансовими випереджальними показниками управлінського обліку, зіставлення цього навантаження з межею спроможності системи управління та прогнозування запасу часу до втрати керованості у фазі переходу. Не перевірено також, чи відображає таке навантаження фактичні епізоди втрати керованості на реальних підприємствах.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Мета статті – розроблення моделей оцінювання навантаження системи управління та раннього попередження у фазі переходу виробничого підприємства та їх апробація на даних управлінського обліку діючих підприємств і підприємства-стартапу оборонного сектору.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Базова модель своєчасності запуску фази переходу

Моделі, запропоновані в статті, спираються на модель своєчасності запуску переходу [1], основні положення якої наведено нижче. Нехай t – час у роках від завершення попереднього переходу. Навантаження на систему управління $\Lambda(t)$ і її спроможність $K(t)$ виражаються в «нормальних переходах»: одиниця навантаження дорівнює обсягу змін, який система управління несе під час одного переходу, виконаного за нормативний термін. Складність переходу визначається коефіцієнтом навантаження

$$F(t) = \frac{\Lambda(t)}{K(t)} \quad (1)$$

де значення $F = 1$ означає межу, за якою система управління вже не здатна нести навантаження.

Навантаження зростає самопідсилювально: чим воно більше, тим більше потрібно узгоджень і виправлень, які його збільшують. Якщо швидкість зростання пропорційна квадрату навантаження, то без переходу воно зростає гіперболічно:

$$\Lambda(t) = \frac{\Lambda_0}{1 - t/t_d}, \quad t_d = \frac{1}{c\Lambda_0} \tag{2}$$

де Λ_0 – навантаження після попереднього переходу; t_d – горизонт колапсу, тобто момент, не пізніше якого без переходу підприємство втрачає керованість; c – коефіцієнт самопідсилення.

Спроможність системи управління зростає в міру реалізації управлінських рішень, що забезпечують перехід, і обмежена граничним значенням κ_0, яке, відповідно до закону необхідної різноманітності [20], у децентралізованій мережі виробничих вузлів вище, ніж у централізованій структурі:

$$K(t) = \kappa_0\left[1 - \left(1 - \hat{K}_0\right)e^{-\mu t}\right] \tag{3}$$

де $\hat{K}_0$ – початкова готовність системи управління (від 0 до 1); μ – швидкість нарощування готовності, рік$^{-1}$.

Технологічне вікно запуску переходу обмежене точкою визрівання t_r, у якій навантаження досягає порогу Λ_r, що робить перехід доцільним, і точкою неповернення t_k, після якої навантаження перевищує граничну спроможність:

$$t_r = t_d\left(1 - \frac{\Lambda_0}{\Lambda_r}\right), \quad t_k \approx t_d\left(1 - \frac{\Lambda_0}{\kappa_0}\right) \tag{4}$$

Для практичного застосування формул (1)–(4) потрібні оцінки Λ_0, t_d, κ_0, $\hat{K}_0$ і μ за даними конкретного підприємства, а також процедура регулярного відстеження того, наскільки навантаження наближається до межі спроможності. Ці дві задачі розв'язують модель оцінювання навантаження системи управління (М1) і модель раннього попередження (М2), які не змінюють базову модель, а забезпечують її вхідними даними та переводять її результати в щоквартальні управлінські сигнали.

Модель оцінювання навантаження системи управління

Модель М1 оцінює навантаження в кожному кварталі після завершення попереднього переходу. Навантаження вимірюється індексом, який зважено поєднує п'ять показників змін, нормованих на їхні значення в період нормального переходу:

$$\Lambda_q = \sum_{j=1}^{5} v_j \frac{x_{jq}}{x_j^{\text{н}}}, \quad \sum_{j=1}^{5} v_j = 1 \tag{5}$$

де Λ_q – індекс навантаження в кварталі q; x_{jq} – значення j-го показника в кварталі q; $x_j^{\text{н}}$ – його значення в період, коли попередній перехід виконувався за планом, без зривів; v_j – вага показника. За такого нормування $\Lambda_q = 1$ відповідає навантаженню одного нормального переходу, тобто індекс виражено в тих самих одиницях, що й Λ у формулі (1). Склад показників наведено в таблиці 1; усі вони містяться в управлінському обліку виробничого підприємства і не потребують спеціальних досліджень.

Таблиця 1

Показники індексу навантаження системи управління та джерела даних

Показник	Одиниця	Зміст	Джерело даних
x_1 – одночасні проєкти змін	шт.	Кількість проєктів зміни продукту, процесу, обладнання, структури чи постачальника, що виконувалися в кварталі	Реєстр проєктів, накази
x_2 – прострочення	%	Частка замовлень (виробничих завдань), виконаних пізніше погодженого строку	ERP-система, журнал замовлень
x_3 – понаднормова і позапланова робота	% фонду часу	Понаднормові години й роботи у вихідні відносно нормативного фонду робочого часу	Табелі обліку робочого часу
x_4 – плинність ключового персоналу	%	Звільнені з ключових посад відносно їх середньої чисельності	Кадрові накази
x_5 – рекламації та зриви якості	шт.	Рекламації замовників і внутрішні невідповідності за квартал	Журнал рекламацій, акти контролю якості

Джерело: розроблено авторами.

Ваги показників визначаються методом аналізу ієрархій [14]. Кожен із 3–5 керівників підприємства незалежно попарно порівнює показники за шкалою 1–9 за критерієм «наскільки повно показник відображає реальне навантаження на систему управління». Вектор ваг є нормованим головним власним вектором матриці порівнянь A, а несуперечливість суджень перевіряється відношенням узгодженості:

$$Av = \lambda_{\max} v, \quad CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)RI} \le 0{,}1 \tag{6}$$

де $\lambda_{\max}$ – найбільше власне число матриці A; $n = 5$ – кількість показників; $RI = 1{,}12$ – випадковий індекс для $n = 5$. Судження групи експертів зводяться в одну матрицю поелементним геометричним середнім, яке, на відміну від арифметичного, зберігає обернену симетричність матриці:

$$a_{ij} = \left(\prod_{e=1}^{E} a_{ij}^{(e)}\right)^{1/E} \tag{7}$$

де $a_{ij}^{(e)}$ – оцінка e-го експерта; E – кількість експертів.

Другим результатом моделі М1 є оцінка горизонту колапсу t_d – одного з найвпливовіших і водночас найважче спостережуваних параметрів базової моделі: момент втрати керованості неможливо дочекатися, не

втративши підприємство. З формули (2) випливає, що величина, обернена до навантаження, зменшується з часом лінійно, тому параметри можна оцінити лінійною регресією за квартальними значеннями індексу:

$$\frac{1}{\Lambda_q} = a + bt_q + \varepsilon_q, \quad \hat{\Lambda}_0 = \frac{1}{a}, \quad \hat{t}_d = -\frac{a}{b} \tag{8}$$

де t_q – час кварталу q від завершення попереднього переходу, років; a, b – коефіцієнти регресії ($b < 0$); ε_q – випадкова похибка. Коефіцієнт детермінації регресії водночас є прямою перевіркою гіперболічного закону накопичення навантаження: якщо лінійна залежність $1/\Lambda_q$ від часу не підтверджується, форму закону слід уточнити. Для надійної оцінки потрібно щонайменше шість кварталів спостережень; для стартапу з коротшою історією горизонт колапсу задається експертно.

Модель раннього попередження у фазі переходу

Модель М2 зіставляє квартальне навантаження зі спроможністю системи управління і формує сигнали для регуляторно-контролюючої підсистеми управління переходом. Готовність системи управління оцінюється як зважений ступінь реалізації управлінських рішень, що забезпечують перехід, двічі – на дату завершення попереднього переходу ($\hat{K}_0$) і на останній квартал ($\hat{K}_n$), що дає змогу обчислити швидкість нарощування готовності оберненням формули (3):

$$\hat{K} = \frac{\sum_i w_i d_i}{\sum_i w_i}, \quad \mu = \frac{1}{t_n} \ln \frac{1-\hat{K}_0}{1-\hat{K}_n} \tag{9}$$

де w_i – вага i-го рішення (від 1 до 10); d_i – ступінь його реалізації (від 0 до 1); t_n – час останнього кварталу, років.

Гранична спроможність оцінюється експертною відповіддю керівництва щодо того, скільки проєктів змін підприємство могло б вести одночасно без втрати керованості за повністю налагодженої системи управління. Віднесення цієї відповіді до нормального рівня показника x_1 переводить її в одиниці індексу навантаження:

$$\kappa_0 = \frac{x_1^{\max}}{x_1^{\text{н}}} \tag{10}$$

Оцінка κ_0 контролюється даними: у кварталах без втрати керованості навантаження не перевищувало спроможності, тому κ_0 не може бути меншою за максимум відношення Λ_q до $\hat{K}(t_q)$; якщо експертна оцінка менша, приймається ця нижня межа. Коефіцієнт навантаження кварталу та його згладжене значення визначаються як

$$F_q = \frac{\Lambda_q}{\hat{K}(t_q)}, \quad z_q = \lambda_E F_q + (1-\lambda_E) z_{q-1}, \quad z_1 = F_1 \tag{11}$$

де z_q – згладжене значення коефіцієнта навантаження; λ_E – параметр згладжування, для квартальних даних прийнятий на рівні 0,3 (менші значення збільшують запізнення сигналу, більші – кількість хибних тривог). Згладжування потрібне тому, що окремі квартальні значення містять випадкові коливання, і реагування на кожне з них призводило б до необґрунтованих зупинок переходу [18]. Стан переходу класифікується за трьома сигнальними зонами (табл. 2).

Таблиця 2

Сигнальні зони фази переходу та дії регуляторно-контролюючої підсистеми

Зона	Умова	Дії регуляторно-контролюючої підсистеми
Зелена	$z_q < 0{,}6$	Плановий режим; підготовка переходу відповідно до прогнозу виходу в жовту зону
Жовта	$0{,}6 \le z_q < 0{,}8$ або $F_q \ge 0{,}8$	Темп змін не підвищувати; щомісячний моніторинг показників x_1–x_5; підготовка резерву спроможності; після точки визрівання – ініціація переходу
Червона	$z_q \ge 0{,}8$ або $F_q > 0{,}9$	Гальмування: зниження темпу змін, відкладення нових проєктів, нарощування κ_0 за рахунок партнерів і паралельних виробничих ділянок

Джерело: розроблено авторами.

Випереджальну функцію системи забезпечує прогноз: за оціненими параметрами навантаження й спроможності визначається, коли без запуску переходу коефіцієнт навантаження досягне меж зон:

$$\hat{F}(t) = \frac{\hat{\lambda}_0}{(1-t/\hat{t}_d)K(t)}, \quad t_\theta = \min\{t > t_n : \hat{F}(t) \ge \theta\}, \quad \theta \in \{0{,}6;\ 0{,}8;\ 1{,}0\} \tag{12}$$

де t_θ – прогнозний момент досягнення рівня θ. Різниця $t_\theta - t_n$ показує, скільки часу залишилося до виходу в жовту чи червону зону, і саме вона, а не поточне значення F_q, є головним випереджальним індикатором: коефіцієнт навантаження може залишатися в зеленій зоні, тоді як до червоної лишається менше часу, ніж потрібно на підготовку переходу. Рекомендований період запуску переходу обмежується знизу точкою визрівання t_r, а зверху – меншим із двох моментів: точкою неповернення t_k (формула 4) або прогнозним виходом у червону зону $t_{0,8}$. У термінах концепції динамічної стійкості [2] модель М2 операціоналізує стовп передбачення (Anticipation): вона знижує невизначеність щодо моменту визрівання переходу і дає час на підготовку резерву спроможності.

Обидві моделі реалізовано програмою «ФазаМонітор» (Python, графічний інтерфейс). Вхідні дані вносяться в стандартизований файл Excel із чотирма аркушами: загальні відомості (дата завершення попереднього переходу, експертна оцінка граничної кількості проєктів змін), квартальні показники x_1–x_5 разом з їх нормальним рівнем, попарні порівняння показників експертами та ступінь реалізації управлінських

рішень. Кожне поле супроводжується поясненням щодо способу визначення і джерела даних, а введення обмежено допустимими діапазонами, тому файл може заповнювати працівник підприємства без спеціальної підготовки. Програма перевіряє повноту й узгодженість даних (кількість кварталів, відношення узгодженості суджень, якість регресії, відповідність експертної оцінки $к_0$ квартальним даним), виконує розрахунки за формулами (5)–(12) і формує таблиці, графіки й текстові висновки з календарними датами.

Результати апробації моделей

Моделі апробовано на даних трьох виробничих підприємств Вінниччини, зібраних за стандартизованим файлом вхідних даних. ТОВ «Промавтоматика Вінниця» (далі – ПАВ) і ПрАТ «Вінницький завод «Маяк»» – діючі підприємства з даними за 21 квартал (IV кв. 2021 р. – IV кв. 2026 р.; значення IV кв. 2026 р. – оцінка на дату заповнення); попередній перехід виробництва перед початком ряду завершився на ПАВ у III кв. 2020 р., на «Заводі «Маяк»» – у II кв. 2018 р. ТОВ «Декстра Дефенс Сістем» – стартап оборонного сектору, створений у IV кв. 2025 р., у якому концепцію управління фазою переходу закладено із заснування; дані охоплюють чотири квартали 2026 р. Попарні порівняння показників виконали відповідно п’ять, чотири і чотири керівники. Працівники підприємств позначили в даних переходи виробництва, переходи управлінських підходів і квартали втрати керованості. Зведені ваги показників наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Зведені ваги показників індексу навантаження за підприємствами

Підприємство	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	*CR* зведеної матриці	Експертів (з них $CR \le 0{,}1$)
ПАВ	0,217	0,229	0,058	0,148	0,349	0,042	5 (0)
Завод «Маяк»	0,170	0,215	0,040	0,072	0,503	0,083	4 (1)
Декстра	0,091	0,291	0,034	0,151	0,433	0,069	4 (2)

Джерело: розраховано авторами за формулами (6), (7) за даними експертних порівнянь керівників підприємств.

На всіх трьох підприємствах найбільшу вагу отримали рекламації та зриви якості (0,35–0,50), друге місце посіли прострочення (0,22–0,29), тоді як кількість одночасних проєктів змін має вагу лише 0,09–0,22. Отже, керівники оцінюють навантаження на систему управління передусім за його наслідками – зривами якості й строків, – а не за обсягом змін. Індивідуальні судження більшості експертів виявилися суперечливими ($CR > 0{,}1$ у десяти з тринадцяти експертів), проте зведення суджень за формулою (7) знизило *CR* до 0,042; 0,083 і 0,069, тобто групова оцінка прийнятна на всіх трьох підприємствах; для «Декстри» це досягнуто після повторного перегляду експертами трьох найбільш суперечливих пар (до перегляду $CR = 0{,}140$). Це обґрунтовує доцільність групового, а не одноосібного визначення ваг. Квартальні значення індексу наведено в таблиці 4 і на рисунку 1.

Таблиця 4

Індекс навантаження системи управління діючих підприємств за кварталами

Квартал	Λq, ПАВ	Подія, ПАВ	Λq, Завод «Маяк»	Подія, Завод «Маяк»
IV кв. 2021	0,57		0,75	
I кв. 2022	0,45		1,50	
II кв. 2022	0,39	У	1,57	
III кв. 2022	0,51		1,16	
IV кв. 2022	1,63	П	1,52	В
I кв. 2023	1,10	В	1,29	
II кв. 2023	0,72	У	1,22	У
III кв. 2023	0,87	П	0,76	
IV кв. 2023	1,00	В	0,88	
I кв. 2024	0,77		0,55	
II кв. 2024	0,68		0,69	
III кв. 2024	0,78	У	0,98	
IV кв. 2024	1,01	П	1,06	
I кв. 2025	0,98		0,88	
II кв. 2025	0,62	В	0,55	
III кв. 2025	0,80		0,65	П
IV кв. 2025	1,32	У	0,92	
I кв. 2026	1,28	В	0,60	
II кв. 2026	0,96	П	0,82	
III кв. 2026	0,97		1,06	
IV кв. 2026	1,09		1,13	

Примітка: П – завершено перехід виробництва; У – перехід управлінських підходів; В – квартал втрати керованості (за оцінкою керівництва). Верхній квартиль Λ_q: ПАВ – 1,01; Завод «Маяк» – 1,16. Для IV кв. 2026 р. на ПАВ індекс розраховано за чотирма показниками з перенормованими вагами (показник x_5 ще не визначено).

Джерело: розраховано авторами за формулою (5) за даними управлінського обліку підприємств.

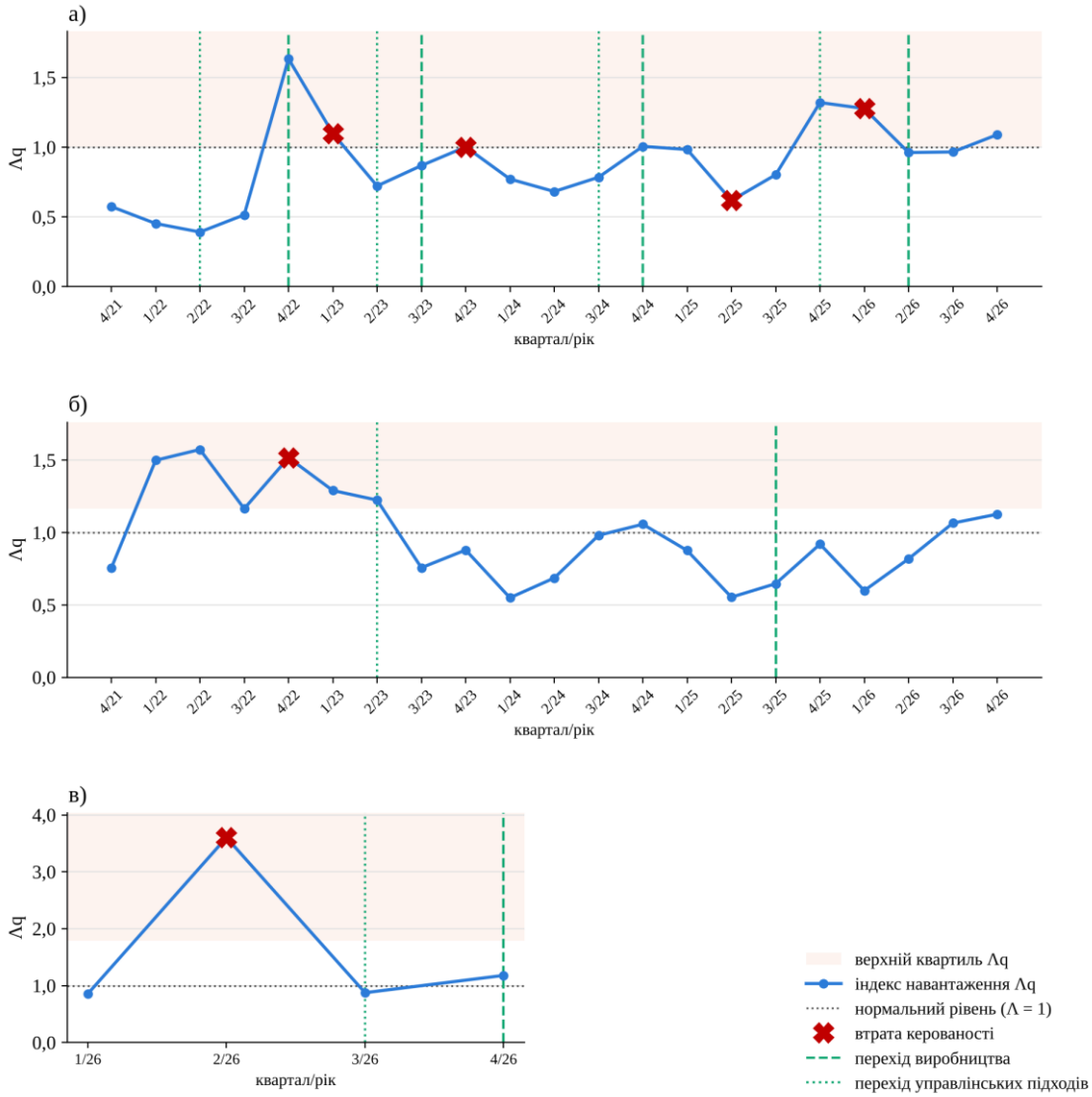


Рис. 1. Індекс навантаження, переходи та квартали втрати керованості: а) ТОВ «Промавтоматика Вінниця»; б) ПрАТ «Вінницький завод «Маяк»»; в) ТОВ «Декстра Дефенс Сістем»

Джерело: розраховано авторами за формулою (5) за даними підприємств.

На ПАВ динаміка індексу має пилкоподібну форму: навантаження наростає протягом трьох–п'яти кварталів і знижується після переходу. Головним результатом апробації є зв'язок піків навантаження з втратою керованості. З шести кварталів, які підприємства позначили як квартали втрати керованості, чотири припадають на квартал, у якому індекс перебував у верхньому квартилі власного ряду підприємства, або на наступний за ним: на ПАВ – I кв. 2023 р. і I кв. 2026 р., на «Заводі «Маяк»» – IV кв. 2022 р., у «Декстрі» – II кв. 2026 р., коли під тиском лавиноподібного попиту індекс досяг 3,60. Ще в одному випадку (IV кв. 2023 р. на ПАВ) індекс (1,00) перебував на межі верхнього квартиля (1,01). Винятком є II кв. 2025 р. на ПАВ, коли втрату керованості зафіксовано за низького навантаження (0,62), що вказує на чинник, не охоплений показниками x_1–x_5. Отже, індекс навантаження, побудований за даними управлінського обліку, здебільшого відображає стан, за якого система управління перестає справлятися з обсягом змін, що емпірично підтверджує змістовну основу моделі (1).

Другий результат стосується частоти й порядку переходів. ПАВ після переходу в III кв. 2020 р. завершила ще чотири переходи виробництва з інтервалами 2,25; 0,75; 1,25 і 1,5 року, і кожному з них на один–два квартали передував перехід управлінських підходів; така сама послідовність спостерігається на «Заводі «Маяк»» і в «Декстрі». Це узгоджується з положенням про те, що перебудова системи управління має випереджати перебудову виробництва [1]. Водночас три з чотирьох переходів виробництва на ПАВ (IV кв. 2022 р., IV кв. 2024 р. і II кв. 2026 р.) завершено в кварталі піку навантаження або одразу після нього, тобто переходи запускалися значною мірою реактивно, а не в зоні своєчасного запуску, яку визначає базова модель.

Апробація виявила й напрями уточнення моделі. Гіперболічна залежність (2) у чистому вигляді на даних підприємств не проявилася. Регресія (8) з відліком часу від завершення попереднього переходу виробництва дає для ПАВ $R^2 = 0{,}10$ з додатним нахилом (цикли тривалістю 0,75–2,25 року). Найдовший цикл

спостерігається на «Заводі «Маяк»»: від переходу в II кв. 2018 р. до наступного в III кв. 2025 р. минуло понад сім років, і в спостережуваній частині циклу (3,5–7,25 року після переходу) навантаження не наростало, а мало тенденцію до зниження ($R^2 = 0{,}29$, нахил регресії $1/\Lambda_q$ додатний); єдиний квартал втрати керованості (IV кв. 2022 р.) припав на пік індексу в середині циклу, а не на його кінець. Отже, на цих рядах навантаження визначалося радше подіями – зовнішніми шоками й стрибками попиту, – ніж часом, що минув від переходу. Це не спростовує базову модель як інструмент вибору моменту запуску, а уточнює інтерпретацію формули (2): гіперболічне накопичення слід розглядати як сценарій за відсутності зовнішніх шоків, а t_d – як параметр, що задається експертно й уточнюється в міру накопичення спостережень.

Повторне опитування директорів щодо граничної кількості одночасних проєктів змін дало $\kappa_0 = 1{,}7$; 1,8 і 1,5 (20, 11 і 6 проєктів за нормального рівня 12, 6 і 4). Ці значення вищі за первинні ($\kappa_0 = 1$), але нижчі за ті, що випливають із даних: без втрати керованості підприємства витримували навантаження, якому відповідає κ_0 не менше 3,0; 4,3 і 1,8, а на ПАВ в окремі квартали вже велося 22 проєкти змін. Директор ПАВ пояснив розбіжність тим, що межа залежить від складності проєктів: за складних проєктів систему управління перевантажать уже 7–8 проєктів, за простих її межа може сягати 40. Отже, гранична спроможність, виражена кількістю проєктів, не визначається одним експертним числом: показник x_1 потребує зважування проєктів за складністю, а κ_0 – калібрування за даними підприємства. Підсумкові показники апробації наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Підсумкові показники апробації моделей M1 і M2

Показник	ПАВ	Завод «Маяк»	Декстра
Період спостережень, кварталів	IV кв. 2021 – IV кв. 2026, 21	IV кв. 2021 – IV кв. 2026, 21	I–IV кв. 2026, 4
Попередній перехід (початок відліку)	III кв. 2020	II кв. 2018	IV кв. 2025 (створення)
Діапазон Λq	0,39–1,63	0,55–1,57	0,86–3,60
Переходів виробництва / управлінських підходів	4 / 4	1 / 1	1 / 1
Кварталів втрати керованості (з них у верхньому квартилі Λq або після нього)	4 (2)	1 (1)	1 (1)
R^2 регресії (8); нахил	0,10; додатний	0,29; додатний	– (замало даних)
Готовність $\hat{K}$: на початку → на дату оцінки; μ, рік$^{-1}$	0,45 → 0,76; 0,16	0,32 → 0,59; 0,10	0,54 → 0,65; 0,27
κ_0: експертна оцінка / нижня межа за даними	1,7 / 3,0	1,8 / 4,3	1,5 / 1,8

Джерело: розраховано авторами за формулами (5)–(10) за даними підприємств.

З огляду на розбіжність експертних і фактичних оцінок κ_0 сигнальна система за рівнем F (табл. 2) на етапі апробації має орієнтовний характер, а практичним сигналом раннього попередження є вхід індексу навантаження у верхній квартиль власного ряду підприємства, який у чотирьох випадках із шести збігся з втратою керованості або передував їй на один квартал. Такий відносний поріг не потребує знання граничної спроможності і може застосовуватися з перших кварталів спостережень.

Результати апробації мають обмеження, які слід враховувати під час їх інтерпретації: вибірка охоплює три підприємства одного регіону і шість епізодів втрати керованості; квартали втрати керованості визначено за оцінкою керівництва, а не за формалізованим критерієм; значення IV кв. 2026 р. є оцінками; прогностична здатність моделі M2 поза вибіркою ще не перевірялася. Тому отримані співвідношення слід розглядати як підтвердження працездатності методики, а не як статистично узагальнені закономірності.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

1. Для застосування моделі своєчасності запуску фази переходу на конкретному виробничому підприємстві запропоновано модель оцінювання навантаження системи управління, у якій індекс навантаження формується з п’яти нефінансових показників управлінського обліку, нормованих на рівень нормального переходу, з груповими вагами за методом аналізу ієрархій, а горизонт колапсу оцінюється регресією оберненого навантаження. На відміну від наявних систем раннього попередження, що спираються на фінансові показники, індекс фіксує навантаження на систему управління до появи фінансових наслідків.

2. Розроблено модель раннього попередження, яка зіставляє навантаження зі спроможністю системи управління, згладжує коефіцієнт навантаження методом EWMA, класифікує стан переходу за трьома сигнальними зонами з визначеними діями регуляторно-контролюючої підсистеми і прогнозує запас часу до виходу в критичні зони; цей запас, а не поточне значення коефіцієнта, є головним випереджальним індикатором. Обидві моделі реалізовано програмою «ФазаМонітор» зі стандартизованим файлом вхідних даних.

3. Апробація на даних трьох виробничих підприємств показала, що керівники оцінюють навантаження передусім за зривами якості й строків (сумарна вага 0,58–0,72), групове зведення суджень забезпечує прийнятну узгодженість ваг за суперечливих індивідуальних оцінок, а чотири з шести кварталів втрати керованості припали на верхній квартиль індексу навантаження або настали безпосередньо після

нього. Три з чотирьох переходів виробництва на ПАВ завершено на піку навантаження, що свідчить про реактивний характер їх запуску і про практичну цінність раннього попередження.

4. Подієвий характер навантаження, виявлений навіть на семирічному циклі «Заводу «Маяк»», та розбіжність експертних і фактичних оцінок граничної спроможності визначають напрями подальших досліджень: доповнення гіперболічного закону накопичення навантаження складовою зовнішніх шоків, зважування проєктів змін за складністю, калібрування $к_ю$ і t_d у міру накопичення спостережень, а також перевірку прогностичної здатності моделі раннього попередження на розширеній вибірці підприємств.

Література

1. Kaspirovych A., Yepifanova I. Managing the Transition Phase Between Stages of the Manufacturing Enterprise Lifecycle as a Key Growth Driver. *Data-Centric Business and Applications* / ed. by A. Semenov, I. Yepifanova, J. Kajanová. Cham : Springer, 2026. P. 259–276. (Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies ; vol. 275). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-10153-2_12

2. Каспірович А. В. Динамічна стійкість (Dynamic Resilience) виробничих мереж: адаптація міжнародних енергетичних стандартів до вимог швидкого масштабування в оборонному секторі України. *Економіка та суспільство*. 2026. Вип. 86. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-86-96

3. Greiner L. E. Evolution and Revolution as Organizations Grow. *Harvard Business Review*. 1972. Vol. 50, No. 4. P. 37–46.

4. Adizes I. Corporate Lifecycles: How and Why Corporations Grow and Die and What to Do About It. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1988. 361 p.

5. Miller D., Friesen P. H. A Longitudinal Study of the Corporate Life Cycle. *Management Science*. 1984. Vol. 30, No. 10. P. 1161–1183. DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.30.10.1161

6. Hayes R. H., Wheelwright S. C. Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*. 1979. Vol. 57, No. 1. P. 133–140.

7. Hanks S. H. The Organization Life Cycle: Integrating Content and Process. *Journal of Small Business Strategy*. 1990. Vol. 1, No. 1. P. 1–12.

8. Resilience Engineering in Practice: A Guidebook / ed. by E. Hollnagel, J. Pariès, D. D. Woods, J. Wreathall. Farnham : Ashgate, 2011. 362 p.

9. ISO 22316:2017. Security and resilience – Organizational resilience – Principles and attributes. Geneva : ISO, 2017. 10 p.

10. Dligach A., Stavytskyy A. Resilience Factors of Ukrainian Micro, Small, and Medium-Sized Business. *Economies*. 2024. Vol. 12, No. 12. Article 319. DOI: https://doi.org/10.3390/economies12120319

11. Hnylytska L., Biriuk O. Resilient model of economic security of enterprises in the context of war and post-crisis challenges. *Finance of Ukraine*. 2026. No. 2. P. 57–72. URL: https://finukr.com.ua/index.php/journal/article/view/206

12. Балаш Л., Бінерт О., Лисюк О. Система раннього попередження та реагування як елемент системи антикризового управління підприємством. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Економіка АПК*. 2020. № 27. С. 44–48. DOI: https://doi.org/10.31734/economics2020.27.044

13. Краузе О. І., Синькевич Н. І., Юрик Н. Є. Економічний аналіз та контроль кризових явищ у діяльності підприємств. *Галицький економічний вісник*. 2024. № 1(86). С. 14–24. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2024.01.014

14. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York : McGraw-Hill, 1980. 287 p.

15. Madzík P., Falát L. State-of-the-art on analytic hierarchy process in the last 40 years: Literature review based on Latent Dirichlet Allocation topic modelling. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17, No. 5. e0268777. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268777

16. Rawat S. S., Pant S., Kumar A., Ram M., Sharma H. K., Kumar A. A State-of-the-Art Survey on Analytical Hierarchy Process Applications in Sustainable Development. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*. 2022. Vol. 7, No. 6. P. 883–917. DOI: https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2022.7.6.056

17. Усикова О. М. Метод аналізу ієрархій у системі прийняття рішень на підприємстві. *Економічний вісник Дніпровського державного технічного університету*. 2023. № 1(6). С. 86–91. DOI: https://doi.org/10.31319/2709-2879.2023iss1(6).283000pp86-91

18. Khan N., Aslam M., Albassam M. Efficiency enhancement of the modified EWMA control method with conditional expected delay for change detection in processes. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. 2023. Vol. 9. Article 1268340. DOI: https://doi.org/10.3389/fams.2023.1268340

19. Perry M. B. An EWMA control chart for categorical processes with applications to social network monitoring. *Journal of Quality Technology*. 2020. Vol. 52, No. 2. P. 182–197. DOI: https://doi.org/10.1080/00224065.2019.1571343

20. Ashby W. R. Requisite variety and its implications for the control of complex systems. *Cybernetica*. 1958. Vol. 1, No. 2. P. 83–99.

References

1. Kaspirovych, A., & Yepifanova, I. (2026). Managing the transition phase between stages of the manufacturing enterprise lifecycle as a key growth driver. In A. Semenov, I. Yepifanova, & J. Kajanová (Eds.), *Data-Centric Business and Applications* (Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Vol. 275, pp. 259–276). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-10153-2_12

2. Kaspirovych, A. V. (2026). Dynamichna stiikist (Dynamic Resilience) vyrobnychykh merezh: adaptatsiia mizhnarodnykh enerhetychnykh standartiv do vymoh shvydkoho masshtabuvannia v oboronnomu sektori Ukrainy [Dynamic resilience of manufacturing networks: adapting international energy standards to the requirements of rapid scaling in Ukraine's defence sector]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (86). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-86-96

3. Greiner, L. E. (1972). Evolution and revolution as organizations grow. *Harvard Business Review*, 50(4), 37–46.

4. Adizes, I. (1988). *Corporate lifecycles: How and why corporations grow and die and what to do about it*. Prentice Hall.

5. Miller, D., & Friesen, P. H. (1984). A longitudinal study of the corporate life cycle. *Management Science*, 30(10), 1161–1183. https://doi.org/10.1287/mnsc.30.10.1161

6. Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1979). Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*, 57(1), 133–140.

7. Hanks, S. H. (1990). The organization life cycle: Integrating content and process. *Journal of Small Business Strategy*, 1(1), 1–12.

8. Hollnagel, E., Pariès, J., Woods, D. D., & Wreathall, J. (Eds.). (2011). *Resilience engineering in practice: A guidebook*. Ashgate.

9. International Organization for Standardization. (2017). *Security and resilience – Organizational resilience – Principles and attributes* (ISO Standard No. 22316:2017). ISO.

10. Dligach, A., & Stavytskyy, A. (2024). Resilience factors of Ukrainian micro, small, and medium-sized business. *Economies*, 12(12), 319. https://doi.org/10.3390/economies12120319

11. Hnylytska, L., & Biriuk, O. (2026). Resilient model of economic security of enterprises in the context of war and post-crisis challenges. *Finance of Ukraine*, (2), 57–72. https://finukr.com.ua/index.php/journal/article/view/206

12. Balash, L., Binert, O., & Lysiuk, O. (2020). Systema rannoho poperedzhennia ta reahuvannia yak element systemy antykryzovoho upravlinnia pidpryiemstvom [Early warning and response system as an element of the enterprise crisis management system]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia: Ekonomika APK*, (27), 44–48. https://doi.org/10.31734/economics2020.27.044

13. Krauze, O. I., Synkevych, N. I., & Yuryk, N. Ye. (2024). Ekonomichnyi analiz ta kontrol kryzovykh yavyshch u diialnosti pidpryiemstv [Economic analysis and control of crisis phenomena in the activities of enterprises]. *Halytskyi ekonomichnyi visnyk*, 1(86), 14–24. https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2024.01.014

14. Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.

15. Madzík, P., & Falát, L. (2022). State-of-the-art on analytic hierarchy process in the last 40 years: Literature review based on Latent Dirichlet Allocation topic modelling. *PLoS ONE*, 17(5), e0268777. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268777

16. Rawat, S. S., Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Sharma, H. K., & Kumar, A. (2022). A state-of-the-art survey on analytical hierarchy process applications in sustainable development. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 7(6), 883–917. https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2022.7.6.056

17. Usykova, O. M. (2023). Metod analizu iierarkhii u systemi pryiniattia rishen na pidpryiemstvi [The analytic hierarchy process in the enterprise decision-making system]. *Ekonomichnyi visnyk Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, 1(6), 86–91. https://doi.org/10.31319/2709-2879.2023iss1(6).283000pp86-91

18. Khan, N., Aslam, M., & Albassam, M. (2023). Efficiency enhancement of the modified EWMA control method with conditional expected delay for change detection in processes. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 9, 1268340. https://doi.org/10.3389/fams.2023.1268340

19. Perry, M. B. (2020). An EWMA control chart for categorical processes with applications to social network monitoring. *Journal of Quality Technology*, 52(2), 182–197. https://doi.org/10.1080/00224065.2019.1571343

20. Ashby, W. R. (1958). Requisite variety and its implications for the control of complex systems. *Cybernetica*, 1(2), 83–99.