Економічні науки

УДК 656.1:658.7:005.334(477+438+478+450)

Головчук Назар Віталійович

незалежний дослідник у сфері логістики

та управління ланцюгами постачання

Holovchuk Nazar

Independent researcher in the field of logistics

and supply chain management

ПРОАКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ СТІЙКІСТЮ ДОРОЖНЬО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОСТІ НА ОСНОВІ МЕТОДИКИ GRACE™: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ВИМІР (УКРАЇНА, ПОЛЬЩА, МОЛДОВА, ІТАЛІЯ)

PROACTIVE RESILIENCE MANAGEMENT OF INDUSTRIAL ROAD AND LOGISTICS SYSTEMS BASED ON THE GRACE™ METHODOLOGY: THE EUROPEAN DIMENSION (UKRAINE, POLAND, MOLDOVA, ITALY)

Анотація. *Вступ. Більшість підходів до забезпечення стійкості ланцюгів постачання мають реактивний характер. Зазвичай їх розробляють для однієї національної системи, а дорожню інфраструктуру розглядають як зовнішню незмінну умову. Події 2018–2022 років показали, що для промисловості Європи вразливість дорожньої мережі є одним із головних джерел каскадних збоїв. Серед таких подій – обвал мосту в Генуї, пандемія COVID-19, повномасштабна війна росії проти України та блокування чорноморських портів. Мета. Апробувати авторську методику GRACE™ (Global Resilience & Adaptive Chain Engine) на дорожньо-логістичних*

системах України, Польщі, Молдови та Італії в контексті транспортної політики Європейського Союзу. Обґрунтувати набір показників для порівняльного оцінювання їхньої стійкості. Матеріали і методи. Використано системний і порівняльний аналіз, сценарний метод та експертне оцінювання за уніфікованою шкалою ризиків. Методичну основу становить авторська методика GRACE™, що реалізується через п'ятиетапний цикл G-R-A-C-E: діагностика, прогнозування, адаптація, реконфігурація, моніторинг. Інформаційну базу становлять нормативні акти ЄС, національні транспортні стратегії, звіти Світового банку та наукові праці з теорії стійкості ланцюгів постачання. Результати. Сформовано універсальний набір із семи показників стійкості дорожньо-логістичної системи. Визначено параметри локальної адаптації для кожної країни та проведено ілюстративне порівняльне оцінювання. Показано, що за спільного ядра методики пріоритети конфігурації різняться: для України це резервні маршрути, для Молдови – диверсифікація коридорів, для Італії – моніторинг стану активів, для Польщі – пропускна здатність прикордонних вузлів. Перспективи. Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісне калібрування шкали ризиків за статистичними даними та на побудову прогнозних моделей збоїв дорожньої мережі.

Ключові слова: *стійкість ланцюгів постачання, GRACE™, дорожня інфраструктура, проактивне управління ризиками, прогнозна аналітика, TEN-T, Україна, Польща, Молдова, Італія.*

Summary. *Introduction. Most approaches to supply chain resilience are reactive. They are usually designed for a single national system, while road infrastructure is treated as an external, fixed condition. The events of 2018–2022 showed that the vulnerability of the road network is one of the main sources of*

cascading disruptions for European industry. These events include the collapse of the bridge in Genoa, the COVID-19 pandemic, Russia's full-scale war against Ukraine, and the blockade of the Black Sea ports. Purpose. To test the author's GRACE™ (Global Resilience & Adaptive Chain Engine) methodology on the road and logistics systems of Ukraine, Poland, Moldova, and Italy in the context of the transport policy of the European Union, and to substantiate a set of indicators for the comparative assessment of their resilience. Materials and methods. The study uses systems and comparative analysis, the scenario method, and expert assessment on a unified risk scale. The methodological basis is the author's GRACE™ methodology, implemented through the five-stage G-R-A-C-E cycle: diagnostics, forecasting, adaptation, reconfiguration, and monitoring. The information base consists of EU legal acts, national transport strategies, World Bank reports, and research on supply chain resilience theory. Results. A universal set of seven resilience indicators for a road and logistics system has been developed. Local adaptation parameters have been defined for each country, and an illustrative comparative assessment has been carried out. It is shown that, with a common methodological core, configuration priorities differ: backup routes for Ukraine, corridor diversification for Moldova, asset condition monitoring for Italy, and border crossing capacity for Poland. Prospects. Further research should focus on the quantitative calibration of the risk scale using statistical data and on building predictive models of road network disruptions.

Key words: *supply chain resilience, GRACE™, road infrastructure, proactive risk management, predictive analytics, TEN-T, Ukraine, Poland, Moldova, Italy.*

Постановка проблеми. Модель глобалізації кінця XX – початку XXI ст. ґрунтувалася на максимальній економічній ефективності: мінімальних

запасах (Just-in-Time), консолідації постачальників і граничній оптимізації маршрутів [11; 12]. Наслідком став парадокс ефективності та стійкості. Що «стрункішим» стає ланцюг постачання, то чутливішим він є до зовнішніх шоків, бо втрачає буферну ємність [32].

У європейському контексті цей парадокс найпомітніший на рівні дорожньої інфраструктури. Основну частину внутрішніх вантажів ЄС перевозять автомобільним транспортом. Тому відмова окремого мосту, прикордонного переходу чи коридору швидко поширюється на виробничі ланцюги кількох країн. Це прояв каскадного (ripple) ефекту [13; 26].

Чинні підходи до управління стійкістю мають три обмеження. По-перше, вони реактивні: компанії реагують на наслідки збоїв, а не випереджають їх. По-друге, вони прив'язані до однієї країни і погано переносяться в інші регуляторні та інфраструктурні умови. По-третє, вони фрагментарні: окремі ланки розглядають ізольовано, а можливості прогнозної аналітики використовують обмежено [9; 20].

Отже, потрібна єдина методика, яка була б водночас проактивною, прогнозною та придатною для порівняння різних юрисдикцій – і держав – членів ЄС, і країн-кандидатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття стійкості ланцюгів постачання сформовано у працях М. Крістофера та Х. Пек [12], Й. Шеффі [32], Й. Шеффі та Дж. Райса [33]. С. Пономарьов і М. Голкомб виокремили фази готовності, реагування та відновлення [28]. Т. Петтіт, Дж. Фіксель і К. Кроксон описали стійкість як баланс вразливостей і можливостей [27]. Б. Тукамухабва та співавтори систематизували визначення стійкості та стратегії її забезпечення [34]. А. Віланд і К. Дурах розмежували інженерне та соціально-екологічне розуміння стійкості [35].

Кількісний вимір проблеми розвинуто в працях Д. Іванова та О. Долгого: огляд кількісних методів аналізу стійкості [20], дослідження ripple-ефекту [13], вплив цифрових технологій на аналітику ризиків [26], концепція життєздатності мереж [24] і цифрових двійників ланцюгів постачання [25]. Д. Іванов також змоделював поширення епідемічних збоїв у глобальних ланцюгах [22] та узагальнив підходи до стійкості в монографії [23]. Г. Баріанніс та співавтори показали можливості штучного інтелекту в управлінні ризиками ланцюгів постачання [9]. Г. Бююкозкан і Ф. Гечер окреслили рамку цифрового ланцюга постачання [10]. Р. Болдвін і Р. Фрімен проаналізували ризики глобальних ланцюгів створення вартості [8].

Просторово-транспортний вимір логістики висвітлено у праці Ж.-П. Родріга [31]. Серед українських учених логістику та ланцюги постачання досліджували Є. Крикавський [2], Н. Чухрай [6], М. Григорак [1] та О. Сумець [5].

Інституційну рамку дослідження становлять Регламент (ЄС) № 1315/2013 щодо TEN-T [30], пропозиції Європейської комісії щодо його перегляду [16; 18], механізми «зелених коридорів» [14] і «Шляхів солідарності» [17], Угода між ЄС та Україною про автомобільні вантажні перевезення [7], а також Швидка оцінка збитків і потреб України [37].

Водночас бракує праць, які застосовують єдину відтворювану методику проактивного оцінювання стійкості до дорожньо-логістичних систем країн із різним статусом щодо ЄС. Це й визначає актуальність дослідження.

Формулювання цілей статті. Мета статті – апробувати авторську методику GRACE™ на дорожньо-логістичних системах України, Польщі, Молдови та Італії та обґрунтувати її придатність для порівняльного проактивного управління стійкістю промисловості в європейському просторі.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

1. Описати архітектуру методики «універсальне ядро + локальна адаптація» стосовно дорожньої інфраструктури.

2. Сформувати універсальний набір показників стійкості дорожньо-логістичної системи.

3. Визначити параметри локальної адаптації для кожної країни.

4. Провести ілюстративне порівняльне оцінювання за циклом G-R-A-C-E і сформулювати рекомендації для України.

Виклад основного матеріалу

1. Методика GRACE™: архітектура «універсальне ядро + локальна адаптація»

Методичною основою дослідження є авторська методика GRACE™, розроблена автором статті для проактивного управління стійкістю ланцюгів постачання незалежно від юрисдикції. Методика розглядає логістику як стратегічну систему забезпечення стійкості, а не як допоміжну операційну функцію. Її три базові принципи – проактивність, прогнозність і переносність між юрисдикціями.

Архітектура методики має три рівні:

- **Універсальне ядро** не змінюється під час переходу до іншої країни. Воно містить методику картування ланцюга, єдині метрики вразливості та стійкості, прогнозні моделі та стандартизовану шкалу ризиків (Risk Scoring Scale). Саме ядро забезпечує порівнянність результатів між країнами.
- **Шар локальної адаптації** переналаштовується під конкретну юрисдикцію з урахуванням митного регулювання, санкційних режимів, стану інфраструктури та правового середовища.
- **Шар геополітичної стійкості** охоплює сценарне моделювання транскордонних шоків (блокування коридорів, збройні конфлікти) і

стратегії структурної реконфігурації: nearshoring, friendshoring, диверсифікацію маршрутів.

Робочий алгоритм методики – замкнений цикл із п'яти етапів:

- **G – Gauge:** діагностика і картування вразливостей;
- **R – Recognize/Predict:** прогнозування ризиків, зокрема каскадних;
- **A – Adapt:** локальна адаптація;
- **C – Configure:** реконфігурація мережі;
- **E – Evaluate & Evolve:** безперервний моніторинг і зворотний зв'язок.

У цій статті методику застосовано не до окремого підприємства, а до інфраструктурного рівня, тобто до національної дорожньо-логістичної системи як середовища функціонування промислових ланцюгів постачання.

2. Універсальне ядро для дорожньо-логістичних систем

На основі теорії стійкості [12; 27; 32; 34] і праць щодо кількісного аналізу [20; 24] пропонується сім універсальних показників. Кожен оцінюють за шкалою від 1 (низький ризик) до 5 (критичний ризик).

Таблиця 1

Універсальні показники ядра методики GRACE™ для дорожньо-логістичних систем

№	Показник ядра	Зміст	Теоретичне джерело
I1	Зв'язність мережі	Щільність і якість магістральної мережі, зв'язок промислових центрів із ринками ЄС	[31]
I2	Надлишковість	Наявність альтернативних маршрутів до ключових промислових вузлів і кордонів	[32; 33]
I3	Стан активів	Зношеність мостів, тунелів і покриття, ризик раптової відмови	[13]
I4	Прикордонна пропускна здатність	Здатність пунктів пропуску приймати пікові вантажопотоки	[14; 17]
I5	Інституційна інтеграція	Гармонізація правил перевезень, статус щодо TEN-T	[7; 18; 30]

№	Показник ядра	Зміст	Теоретичне джерело
I6	Цифровий моніторинг	Наявність систем моніторингу стану інфраструктури та вантажопотоків у реальному часі	[25; 26]
I7	Геополітична експозиція	Ризик воєнних дій, блокування коридорів, транзитної залежності	[8; 15]

Джерело: авторська розробка

Показники однакові для всіх країн. Це забезпечує порівнянність результатів, закладену в ядро методики.

3. Шар локальної адаптації: параметри країн

Етап A (Adapt) передбачає налаштування методики під національне середовище без зміни ядра.

Польща. Країна є повноправною частиною TEN-T [30]. Магістральну мережу модернізовано переважно за рахунок фондів ЄС у межах урядової програми будівництва національних доріг [29]. Пріоритет адаптації – пропускна здатність прикордонних вузлів на кордоні з Україною, які у 2022 році були перевантажені через переорієнтацію українського експорту [17].

Італія. Мережа зріла, з високою зв'язністю промислових регіонів Півночі. Ключовий параметр – стан активів. Обвал мосту Моранді в Генуї 14 серпня 2018 року став прикладом ripple-ефекту, коли відмова одного вузла поширюється на регіональні ланцюги постачання [13]. Національний план відновлення та стійкості передбачає інвестиції в модернізацію та цифровізацію інфраструктури [19]. Пріоритет – відповідність стандартам і вимогам звітності ЄС та моніторинг стану активів.

Україна. Мережа автомобільних доріг загального користування становить близько 170 тис. км [4]. Після повномасштабного вторгнення 2022 року транспортний сектор зазнав значних прямих збитків [37]. Через

блокування морських портів експорт переорієнтувався на західні сухопутні кордони [17]. Угода з ЄС про автомобільні вантажні перевезення тимчасово скасувала вимогу дозволів для українських перевізників [7]. Правову основу для залучення приватних інвестицій створює Закон України «Про концесію» [3]. Пріоритет адаптації – геополітичний шар і резервні маршрути.

Молдова. Невелика транзитна економіка з обмеженими фіскальними ресурсами. Дорожня галузь розвивалася в межах Стратегії транспорту та логістики на 2013–2022 роки [21]. У 2022 році Молдова отримала статус кандидата на вступ до ЄС і була включена до запропонованого розширення TEN-T [18]. Пріоритет – диверсифікація коридорів.

4. Ілюстративне порівняльне оцінювання (етапи G і R)

На етапі G (Gauge) за універсальними показниками проведено експертне оцінювання станом на 2022 рік. Оцінки мають ілюстративний характер і демонструють роботу шкали. Надалі їх слід калібрувати за статистичними даними [36; 37].

Таблиця 2

Ілюстративна оцінка ризиків дорожньо-логістичних систем за шкалою GRACE™ (1 – низький, 5 – критичний)

Показник	Польща	Італія	Україна	Молдова
I1 Зв'язність мережі	2	1	4	4
I2 Надлишковість	2	3	4	5
I3 Стан активів	2	4	5	4
I4 Прикордонна пропускна здатність	4	2	5	4
I5 Інституційна інтеграція	1	1	3	3
I6 Цифровий моніторинг	3	3	4	4
I7 Геополітична експозиція	3	1	5	4
Середній бал	**2,4**	**2,1**	**4,3**	**4,0**

Джерело: авторська експертна оцінка на основі [4; 7; 14; 17–19; 21; 29; 30; 36; 37]

На етапі R (Recognize/Predict) для кожної країни виокремлено ключовий сценарій каскадного ризику:

- **Україна:** руйнування мостів або ураження логістичних вузлів → перевантаження західних маршрутів → черги на кордонах → зупинка експортно орієнтованих виробництв.
- **Молдова:** обмеження на одному з транзитних напрямів → відсутність альтернативи → зрив транзиту до румунських портів.
- **Італія:** раптова відмова застарілого мосту або обмеження на альпійських перевалах → розрив сполучення портових вузлів із промисловими районами.
- **Польща:** стрибок вантажопотоку з України → перевантаження пунктів пропуску → затримки для виробників по обидва боки кордону.

Ці сценарії підтверджують, що ризики мають складений характер (compound risks): геополітична подія посилюється інфраструктурним вузьким місцем та інституційним обмеженням [8; 13]. Досвід пандемії COVID-19 також засвідчив, що збої в одній ланці швидко поширюються на глобальні ланцюги постачання [22].

5. Реконфігурація і моніторинг (етапи C і E)

Етап C (Configure) охоплює рішення, що зменшують концентрацію ризику:

- **для України** – розвиток паралельних маршрутів до кордонів із Польщею, Румунією, Словаччиною та Молдовою, тимчасових переправ і мультимодальних рішень, щоб зменшити навантаження на автомобільні дороги;
- **для Молдови** – розвиток кількох коридорів до Румунії та України в межах розширеної мережі TEN-T [18];

- **для Польщі** – розширення прикордонної інфраструктури та запровадження електронних черг;
- **для Італії** – пріоритет утримання та заміни критичних активів.

Для промислових підприємств реконфігурація означає застосування стратегій nearshoring і friendshoring з урахуванням дорожньої зв'язності країни розміщення, а також диверсифікацію маршрутів постачання [15; 32].

Етап E (Evaluate & Evolve) передбачає безперервний моніторинг показників I1–I7. Технологічну основу становлять датчики стану мостів, телематика вантажного транспорту, аналітика великих даних і цифрові двійники мережі [10; 25; 26]. Досвід «зелених коридорів» 2020 року показав, що оперативний моніторинг прикордонних вузлів і пріоритетний пропуск вантажів дають змогу зберегти вантажопотоки навіть під час гострої кризи [14]. Результати моніторингу повертаються на етап G і запускають новий цикл оцінювання [23].

6. Рекомендації для України

1. Застосувати універсальне ядро GRACE™ як основу оцінювання проєктів відбудови дорожньої мережі. Це забезпечить порівнянність результатів із державами – членами ЄС.

2. Пріоритизувати відбудову коридорів, включених до запропонованого розширення TEN-T, відповідно до технічних стандартів мережі [16; 18; 30].

3. Закладати надлишковість мережі як принцип планування, а не як реакцію на кризу [32; 33].

4. Від самого початку відбудови запроваджувати цифровий моніторинг мостів і штучних споруд з урахуванням італійського досвіду [19].

5. Залучати приватні інвестиції через концесії та державно-приватне партнерство [3].

6. Розвивати прикордонну інфраструктуру спільно із сусідніми державами, використовуючи досвід «зелених коридорів» і «Шляхів солідарності» [14; 17].

Висновки. Дорожня інфраструктура є окремим, інфраструктурним рівнем стійкості промислових ланцюгів постачання. Її можна і потрібно оцінювати тими самими проактивними методами, що й корпоративні ланцюги.

Апробація методики GRACE™ підтвердила, що її архітектура «універсальне ядро + локальна адаптація» придатна для порівняння країн із різним статусом щодо ЄС. За однакових показників ядра пріоритети конфігурації різняться: для України це резервні маршрути та геополітичний шар, для Молдови – диверсифікація коридорів, для Італії – моніторинг активів, для Польщі – прикордонна пропускна здатність.

Ілюстративне оцінювання показало суттєвий розрив між державами – членами ЄС (середній бал 2,1–2,4) і країнами-кандидатами (4,0–4,3). Скоротити його можна передусім через інтеграцію в TEN-T, розвиток надлишковості мережі та цифровий моніторинг.

Наукова новизна дослідження полягає в перенесенні авторської методики GRACE™ з корпоративного на інфраструктурний рівень і в розробленні універсального набору показників стійкості дорожньо-логістичних систем для європейських юрисдикцій.

Практичне значення полягає в можливості використати запропонований інструментарій для планування післявоєнної відбудови дорожньої мережі України, підготовки проєктів у межах TEN-T і розроблення логістичних стратегій промислових підприємств.

Перспективи подальших досліджень: кількісне калібрування шкали ризиків за статистичними даними, побудова прогнозних моделей збоїв

дорожньої мережі на основі машинного навчання та апробація методики на рівні окремих промислових кластерів.

Додаткова інформація. *Фінансування:* Автор не отримував фінансування для цього дослідження. *Заява про доступність даних:* Не застосовується. *Конфлікт інтересів:* Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Григорак М. Ю. *Логістика: теорія та практика*. Київ: Центр учбової літератури, 2017.

2. Крикавський Є. В. *Логістика та управління ланцюгами поставок*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020.

3. *Про концесію*: Закон України від 03.10.2019 № 155-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/155-20

4. *Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року*: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-р

5. Сумець О. М. *Логістика: теорія та практика*. Київ: Хай-Тек Прес, 2019.

6. Чухрай Н. І., Крикавський Є. В. *Логістичний менеджмент*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019.

7. *Agreement between the European Union and Ukraine on the carriage of freight by road*. OJ L 186, 13.07.2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2022:186:TOC

8. Baldwin R., Freeman R. Risks and Global Supply Chains: What We Know and What We Need to Know. *Annual Review of Economics*. 2022. Vol. 14. P. 153–180. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-economics-051420-113737

9. Baryannis G., Validi S., Dani S., Antoniou G. Supply Chain Risk Management and Artificial Intelligence: State of the Art and Future Research Directions. *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 57, No. 7. P. 2179–2202. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1530476

10. Büyüközkan G., Göçer F. Digital Supply Chain: Literature Review and a Proposed Framework for Future Research. *Computers in Industry*. 2018. Vol. 97. P. 157–177. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010

11. Christopher M. *Logistics & Supply Chain Management*. 5th ed. Harlow: Pearson, 2016. 328 p.

12. Christopher M., Peck H. Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*. 2004. Vol. 15, No. 2. P. 1–14. DOI: https://doi.org/10.1108/09574090410700275

13. Dolgui A., Ivanov D., Sokolov B. Ripple Effect in the Supply Chain: An Analysis and Recent Literature. *International Journal of Production Research*. 2018. Vol. 56, No. 1–2. P. 414–430. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1387680

14. European Commission. *Communication on the implementation of the Green Lanes under the Guidelines for border management measures to protect health and ensure the availability of goods and essential services*. C(2020) 1897 final. OJ C 96I, 24.03.2020. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020XC0324(01)

15. European Commission. *Strategic Dependencies and Capacities*. SWD(2021) 352 final. Brussels, 2021. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021SC0352

16. European Commission. *Proposal for a Regulation on Union guidelines for the development of the trans-European transport network*. COM(2021) 812

final. Strasbourg, 2021. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0812

17. European Commission. *An Action Plan for EU-Ukraine Solidarity Lanes to Facilitate Ukraine's Agricultural Export and Bilateral Trade with the EU*. COM(2022) 217 final. Brussels, 2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022DC0217

18. European Commission. *Amended Proposal for a Regulation on Union guidelines for the development of the trans-European transport network*. COM(2022) 384 final. Brussels, 2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022PC0384

19. Governo Italiano. *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)*. Roma, 2021. URL: https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf

20. Hosseini S., Ivanov D., Dolgui A. Review of Quantitative Methods for Supply Chain Resilience Analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2019. Vol. 125. P. 285–307. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.001

21. *Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 827 din 28.10.2013 cu privire la Strategia transportului şi logisticii pe anii 2013–2022*. Monitorul Oficial al Republicii Moldova. 2013. Nr. 247–252. URL: https://www.legis.md

22. Ivanov D. Predicting the Impacts of Epidemic Outbreaks on Global Supply Chains: A Simulation-Based Analysis on the Coronavirus Outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) Case. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2020. Vol. 136. Article 101922. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101922

23. Ivanov D. *Introduction to Supply Chain Resilience: Management, Modelling, Technology*. Cham: Springer, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-70490-2

24. Ivanov D., Dolgui A. Viability of Intertwined Supply Networks: Extending the Supply Chain Resilience Angles towards Survivability. *International Journal of Production Research*. 2020. Vol. 58, No. 10. P. 2904–2915. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1750727

25. Ivanov D., Dolgui A. A Digital Supply Chain Twin for Managing the Disruption Risks and Resilience in the Era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*. 2021. Vol. 32, No. 9. P. 775–788. DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450

26. Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. The Impact of Digital Technology and Industry 4.0 on the Ripple Effect and Supply Chain Risk Analytics. *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 57, No. 3. P. 829–846. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086

27. Pettit T. J., Fiksel J., Croxton K. L. Ensuring Supply Chain Resilience: Development of a Conceptual Framework. *Journal of Business Logistics*. 2010. Vol. 31, No. 1. P. 1–21. DOI: https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2010.tb00125.x

28. Ponomarov S. Y., Holcomb M. C. Understanding the Concept of Supply Chain Resilience. *The International Journal of Logistics Management*. 2009. Vol. 20, No. 1. P. 124–143. DOI: https://doi.org/10.1108/09574090910954873

29. Rada Ministrów RP. *Rządowy Program Budowy Dróg Krajowych do 2030 roku (z perspektywą do 2033 roku)*. Warszawa, 2019. URL: https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-budowy-drog-krajowych-do-2030-roku

30. *Regulation (EU) No 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU*. OJ L 348, 20.12.2013. P. 1–128. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/1315/oj

31. Rodrigue J.-P. *The Geography of Transport Systems*. 5th ed. New York: Routledge, 2020. DOI: https://doi.org/10.4324/9780429346323

32. Sheffi Y. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Cambridge, MA: MIT Press, 2005. 368 p. URL: https://mitpress.mit.edu/9780262693493/the-resilient-enterprise/

33. Sheffi Y., Rice J. B. A Supply Chain View of the Resilient Enterprise. *MIT Sloan Management Review*. 2005. Vol. 47, No. 1. P. 41–48. URL: https://sloanreview.mit.edu/article/a-supply-chain-view-of-the-resilient-enterprise/

34. Tukamuhabwa B. R., Stevenson M., Busby J., Zorzini M. Supply Chain Resilience: Definition, Review and Theoretical Foundations for Further Study. *International Journal of Production Research*. 2015. Vol. 53, No. 18. P. 5592–5623. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1037934

35. Wieland A., Durach C. F. Two Perspectives on Supply Chain Resilience. *Journal of Business Logistics*. 2021. Vol. 42, No. 3. P. 315–322. DOI: https://doi.org/10.1111/jbl.12271

36. Arvis J.-F., Ojala L., Wiederer C., Shepherd B., Raj A., Dairabayeva K., Kiiski T. *Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy. The Logistics Performance Index and Its Indicators*. Washington, DC: World Bank, 2018. URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29971

37. World Bank, Government of Ukraine, European Commission. *Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment: August 2022*. Washington, DC: World Bank, 2022. URL: https://www.worldbank.org/en/country/ukraine/publication/ukraine-rapid-damage-and-needs-assessment