

© Кириллова О.В., Ларіна І.М.

КРИТЕРІЇ ТА УМОВИ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМІНАЛУ ПОРТУ

Метою дослідження є розробка критеріїв та умов сталого функціонування контейнерних терміналів порту для забезпечення їх ефективності та конкурентоспроможності, а також для забезпечення сталого функціонування транспортної галузі країни. Результатом дослідження є основні теоретичні положення щодо визначення сутності, критеріїв та умов сталого функціонування техніко-технологічної системи контейнерного терміналу як основи сталого функціонування терміналу. Встановлено, що під сталим функціонуванням виробничого підприємства розумітимемо практичну відповідність фактичних показників функціонування заданим (плановим) під впливом різних факторів як зовнішнього, так і внутрішнього середовища. Для виробничих підприємств, чия діяльність базується на відповідній виробничій системі, з використанням технічних засобів та обладнання (наприклад, для терміналів морських торгових портів), базисом для сталого функціонування є насамперед забезпечення необхідних виробничих параметрів – продуктивності, пропускної спроможності тощо. Тобто базою задля забезпечення сталого функціонування підприємства, перш за все, є стійке функціонування його техніко-технологічної системи. Визначено основні критерії сталого функціонування: забезпечення з певною ймовірністю показників функціонування в межах коридору стійкості, у разі порушення сталого функціонування - забезпечення з певною ймовірністю повернення до сталого стану у заданий час та наявність доступу до необхідних фінансових ресурсів. Сформульовано умови сталого функціонування техніко-технологічної системи контейнерного терміналу на базі декомпозиції пропускної спроможності терміналу.

Формалізація умов сталого функціонування техніко-технологічної системи підприємств контейнерного терміналу здійснена з використанням теорії ймовірностей, враховуючи, що продуктивність технологічного обладнання, пропускна спроможність причалів і терміналу в цілому змінюються під впливом множини внутрішніх і зовнішніх факторів, частина з яких має випадковий характер. Викладені результати складають теоретичну базу для подальшої розробки методів та засобів забезпечення сталого функціонування морських контейнерних терміналів.

Ключові слова: контейнерні перевезення, контейнерний термінал, ймовірність, пропускна спроможність, технологічне обладнання, експлуатаційна робота, перевантаження, ризик, інфраструктура, технологічні процеси, процес доставки, порт, логістика

Постановка проблеми. Щорічне зростання обсягів морських перевезень, у тому числі, вантажів у контейнерах, призводить до зростання навантаження на контейнерні термінали, які є утворюючими елементами у системі морських контейнерних перевезень. Контейнерні термінали являють собою проміжні вузли глобальних ланцюгів поставок, що з'єднують центри виробництва і споживання. Зростання розміру суден-контейнеровозів, розвиток інформаційних технологій призводять до нових вимог до продуктивності терміналів та організації їх роботи. Це обґрунтовує стійкість тенденції автоматизації та цифровізації терміналів, створення SMART портів та терміналів [1-5]. Крім того, глобальний тренд відповідального розвитку вимагає нових технологій в системі морських перевезень [6,7] з метою зменшення екологічного навантаження від морського транспорту на довкілля. Також сучасна система морських контейнерних перевезень характеризується високим рівнем невизначеності контейнеропотоків [8,9], що пояснюється, перш за все, впливом світових політичних подій на систему міжнародної торгівлі та відповідних перевезень.

При цьому життєво важливим для країни є наявність у портів та терміналів виробничих ресурсів достатніх для переробки визначеного обсягу вантажів. Стале функціонування морських контейнерних

терміналів забезпечує ефективність контейнерних перевезень, що сприяє розвитку транспортної галузі країни та підвищенню конкурентоспроможності українських портів. Це дозволить гарантувати безперебійність роботи, якість технологічних процесів, ефективність та безпеку праці.

Після закінчення війни портові термінали країни будуть працювати в складних умовах з урахуванням негативного впливу як можливого дефіциту та збоїв у електропостачанні, так й можливих відмов перевантажувальної техніки з урахуванням неможливості її глобального оновлення. Таким чином, всі ці фактори призведуть до складання умов, до яких необхідно підготуватися та мати ефективний теоретичний базис для організації такої роботи портових контейнерних терміналів, яка забезпечить ефективність в рамках їх сталого функціонування.

Аналіз літератури. На функціонування системи можна дивитися з різних точок зору – у сучасній науковій літературі розглядаються поняття «ефективне функціонування», «оптимальне функціонування», «безперебійне функціонування» та т.п. Це відповідає основним характеристикам функціонування системи, до яких відноситься ефективність, надійність, якість управління, перешкодозахищеність, стійкість і ступінь складності тощо [10]. «Стале функціонування» є також одним з варіантів розгляду функціонування та пов'язано з такою характеристикою системи як «стійкість». Слід зазначити, що така властивість системи як «стійкість» розглядається з різних точок зору - узагальнюючи варіанти «стійкості», у [11], наприклад, розглядаються: стійкість економічна, стійкість операційна, стійкість фінансова та т.п.

Згідно загальноприйнятого визначення, стійкість системи – це можливість забезпечувати задані параметри за умов різного негативного впливу внутрішніх і зовнішніх факторів. Такий підхід є універсальним і може бути застосований до систем будь-якої природи. Згідно думок деяких авторів [12] система є стійкою, якщо навіть після «збою» у процесі її функціонування та виходу параметрів системи за певні межі, система здатна у мінімальні терміни повернутися до нормального режиму функціонування.

У сучасній літературі крім терміну «стале функціонування» використовується також термін «функціональна стійкість». Функціональна стійкість – більш комплексне поняття, яке включає в собі поняття надійності, живучості та відмовостійкості [13]. На базі аналізу джерел, можна зробити висновок про те, що термін «стале функціонування» є більш узагальнюючим для систем будь-якої природи, характеризуючи таку характеристику функціонування як «стійкість». «Функціональна стійкість» [11-14] є більш конкретним проявом сталого функціонування для технічних (інформаційних) систем. Також слід зазначити, що «стале функціонування» передбачає будь-який часовий інтервал розгляду та різноманітні впливи; на відміну від «функціональної стійкості», що передбачає майже постійний вплив негативних факторів – наприклад, погодних умов на технічну систему, та більш близько до надійності, як це зазначено у [13]. Для інформаційних систем функціональна стійкість відноситься до властивості системи залишатися працездатною та виконувати свої функції незалежно від різних внутрішніх або зовнішніх впливів, таких як помилки в роботі, несправності обладнання, збоїв в програмах або кібератаки. Вона може бути досягнутою навіть за умови відмови якоїсь частини обладнання чи складової, головне – збереження працездатності системи й виконання задач за призначенням [14].

Для підприємств, які пов'язані з певною виробничою системою та відповідним комплексом технічних засобів та технологічного обладнання, стале функціонування визначається можливістю забезпечення певного рівня виробничої потужності, що для контейнерних терміналів характеризується пропускною спроможністю.

На основі аналізу сучасних публікацій можна стверджувати, що більшість джерел, присвячених «сталому функціонуванню», як правило, розглядають в якості об'єкту дослідження інформаційні системи, зокрема керуючі системи, такі як бортові комплекси літаків і кораблів [15].

У дослідженні [16] подальшого розвитку набули теоретичні основи управління роботою флоту, зокрема уточнено трактування та визначення поняття «сталість» в аспекті управлінської діяльності судноплавного підприємства. Водночас уперше виявлено та систематизовано можливі стани судноплавної компанії внаслідок її взаємодії із зовнішнім середовищем, а також формалізовано феномен рівноваги в її експлуатаційній діяльності з точки зору статичної та динамічної. Це сприяє

вирішенню питань, пов'язаних із визначенням закономірностей взаємного впливу транспортних систем і зовнішнього середовища.

Попри те, що концепція сталого функціонування може застосовуватися до всіх видів систем, вона майже не розглядається щодо підприємств портової сфери. Забезпечення необхідного рівня пропускної спроможності терміналів залишається недостатньо дослідженим. Враховуючи практичні потреби та відсутність відповідної теоретичної бази, дослідження сталого функціонування контейнерних терміналів є актуальним.

Метою дослідження є розробка критеріїв та умов сталого функціонування контейнерних терміналів порту для забезпечення їх ефективності та конкурентоспроможності, а також для забезпечення сталого функціонування транспортної галузі країни.

Основні результати дослідження.

Узагальнене формування критеріїв сталого функціонування виробничого підприємства.

Під сталим функціонуванням підприємства розумітимемо практичну відповідність фактичних показників його функціонування заданим (плановим) при впливі різних факторів як зовнішнього, так і внутрішнього середовища. Практична відповідність означає знаходження показників у так званому «коридорі стійкості», який передбачає допустиме відхилення в гірший бік фактичних показників від заданого рівня на певну допустиму величину:

$$R^f \geq R' - \Delta R', \quad (1)$$

де R^f - фактичний показник функціонування, R' - заданий рівень показника функціонування, $\Delta R'$ - допустиме відхилення від заданого рівня функціонування.

Коли мова йде про стратегічно важливі галузі господарства, наприклад, енергетичний комплекс, металургійні підприємства, то під сталим функціонуванням розуміють спроможність виробляти продукцію в установлених номенклатурі та обсягах (або виконувати свої функції). Якщо слідувати такому підходу, то пріоритетним показником діяльності (функціонування) підприємства є обсяги виробництва або виробничі потужності, виходячи з того, що головна функція підприємства – виробництво певної продукції (надання послуг, наприклад, транспортних) в встановлених обсягах. Для транспортних підприємств головна функція – виконання транспортної роботи, тому специфічні показники виробничих потужностей – «пропускна здатність» для транспортних терміналів та «провізна здатність» для перевізників.

Забезпечення сталого функціонування можливо тільки з певною ймовірністю P_α , отже:

$$P(R' - R^f \leq \Delta R') \geq p_\alpha. \quad (2)$$

Можна говорити про стійкість функціонування підприємства, якщо $p_\alpha \geq p^*$, де p^* - ймовірність, прийнята як «значна» для даної ситуації, як правило, у подібних дослідженнях (наприклад, [8]) приймається на рівні $p^* = 0,85 - 0,95$.

На рис.1. в момент часу $t = T^n$ значення показника діяльності R^f виходить за межі «коридору стійкості», порушається умова (1) та маємо $R^f < R' - \Delta R'$, отже відхилення необхідного значення показника функціонування від встановленого R' складає більш, ніж припустиме значення $\Delta R'$. Але за період часу ΔT^r показник сталого функціонування повернувся до припустимого рівня. Отже, можна говорити про стале функціонування підприємства, якщо ΔT^r відповідає умові:

$$\Delta T^r \leq T^*, \quad (3)$$

де T^* - допустимий час для повернення в сталий стан, задається для кожного підприємства з урахуванням його специфіки та стану зовнішнього середовища.

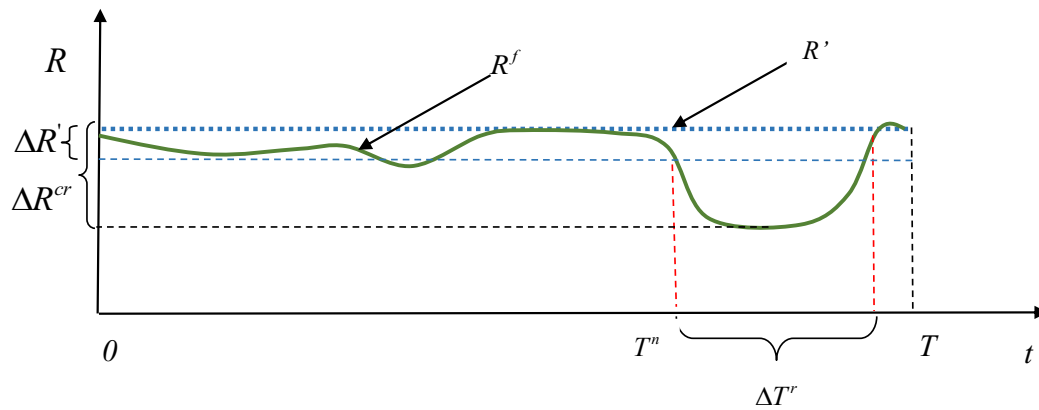


Рисунок 1 – Динаміка показника функціонування виробничого підприємства

Слід зазначити, що в контексті розгляду сталого функціонування підприємства важливим є не тільки сам факт повернення до певних показників, а й час ΔT^r , за який підприємство може повернутися до цього показника, як це показано на прикладі на рис.1. Тому порівнюючи з точки зору сталого функціонування задане підприємство з іншими подібними, більш сталим можна вважати підприємство, якому потрібен менший час для повернення до певного рівня результатів функціонування при тих самих факторів, що впливають.

З урахуванням ймовірнісної природи часу повернення до сталого стану, за аналогією з (2) можна сформулювати умову:

$$P(\Delta T^r \leq T^*) = p_\beta, \quad (4)$$

де $p_\beta \geq p^*$ - ймовірність того, що час повернення в стан сталого функціонування не перевищує заданий рівень T^* .

Необхідно звернути увагу на те, що час повернення до сталого функціонування ΔT^r залежить від багатьох факторів, перш за все, розміру відхилення показників сталого функціонування R^f від встановленого R' - чим більше $\Delta R = R' - R^f$, тим більше часу, як правило, необхідно для повернення у сталий стан.

Отже, під впливом множини факторів негативного характеру сталий стан підприємства може порушуватися, що призводить до виходу показників за межі коридору стійкості, наприклад, до відхилення від необхідного рівня на величину $\Delta R > \Delta R'$, що трактується як порушення сталого функціонування. Проте певні заходи можуть вивести підприємство на необхідну траєкторію та повернути до «коридору стійкості». Або негативні фактори довкілля припиняють свій вплив і підприємство також повертається до сталого стану.

Отже, висновок: стале функціонування – це не тільки дотримання певних показників функціонування, а також наявність властивості у системи повертатися у сталий стан за припустимий проміжок часу, якщо цей стан був порушений. У більшості випадків повернення до сталого стану потребує матеріальних витрат.

Фактори впливу на стале функціонування – зовнішні та внутрішні – мають різну природу та основна їх сукупність залежить від специфіки діяльності підприємства. Наприклад, для деяких сфер к основним факторам впливу можна віднести постачальників та матеріали (ресурси), які є предметом постачань, у тому числі, їх обсяг та якість. Наприклад, для транспортної сфери постачання палива та інших енергоресурсів є життєвоважливим, тому що за умов відсутності даних ресурсів, підприємства не можуть функціонувати. Погодні умови та кліматичні колапси також впливають на стан, наприклад, перевантажувальної техніки у порту, або транспортних засобів, що може призвести до такого їх стану, при якому вони не можуть виконувати роботу, отже підприємство не може забезпечити необхідні обсяги виконання робіт. Тем не менш, якщо, наприклад, пошкоджено техніка та обладнання, а підприємство спроможне за стислий час орендувати або придбати нову техніку, чи відремонтувати пошкоджену, то

це дозволяє повернутися підприємству у нормальний стан функціонування, забезпечуючи встановлений та необхідний рівень обсягів виробництва.

Розглядаючи відхилення ΔR показника функціонування від встановленого рівня, слід зауважити, що кожному підприємству відповідає певний рівень ΔR^{cr} , який можна вважати «критичним відхиленням» від сталого стану, отже при

$$R' - R^f > \Delta R^{cr} \quad (5)$$

повернення до сталого стану 1) практично неможливо взагалі - можливо з ймовірністю $p_{cr} \rightarrow 0$; 2) практично неможливо за припустимий час T^* .

Витрати матеріальних ресурсів E , які необхідні для повернення к сталому стану, як правило, залежать від рівня відхилення від сталого стану $\Delta R = R' - R^f$, а також від факторів, які призвели до даного відхилення.

Отже, $E(\Omega_A, \Delta R)$, де $\Omega_A \subset \Omega$ - множина факторів - підмножина множини Ω , яке визначає вплив певних факторів з множини Ω можливих факторів впливу, які привели до порушення сталого функціонування. Слід зазначити, що наявність ресурсів у розмірі $E(\Omega_A, \Delta R)$ або можливість їх отримання у стислий термін є необхідною умовою для забезпечення повернення у стає функціонування. З іншого боку, наявність даних ресурсів $E(\Omega_A, \Delta R)$ не є достатньою умовою для повернення у стан сталого функціонування, тому що ресурси потребують адекватного використання у контексті застосування ефективних заходів. Саме тому ресурси є необхідною, але не достатньою умовою.

Таким чином, в якості критеріїв сталого функціонування виробничого підприємства пропонується наступна сукупність, яка наведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Критерії сталого функціонування виробничої системи

Умови сталого функціонування техніко-технологічної системи контейнерного терміналу.

На пропускну здатність терміналу впливають безліч факторів:

- параметри підхідних каналів;
- кількість, конструкція, технічний стан та глибини причалів терміналу;
- ступінь технічного оснащення (кількість, типи, вантажопідйомність перевантажувальних машин та пристроїв);
- кількість, місткість, конструкція та розташування складів;

- технологія перевантажувальних робіт тощо.

З урахуванням викладеного вище та враховуючи специфіку морських контейнерних терміналів, можна вважати, що основні складові їх сталого функціонування: необхідний стан техніко-технологічної системи; наявність ресурсів необхідної кількості та якості (енергоресурси, людські ресурси); необхідний рівень глибин біля причалів; необхідний технічний стан причалів. Але ж основу для сталого функціонування терміналу забезпечує, перш за все, його техніко-технологічна система, яка складається з сукупності технічних засобів (перевантажувального обладнання різних категорій), що формують технологічні лінії для проведення вантажних робіт.

Декомпозиція пропускної спроможності контейнерного терміналу з урахуванням результатів структурно-функціонального аналізу дозволяє уявити її формування у вигляді наступної схеми (рис.3). Отже, пропускна спроможність терміналу $R(X, t)$ формується як поєднання продуктивності (пропускної спроможності) технологічного обладнання причалів:

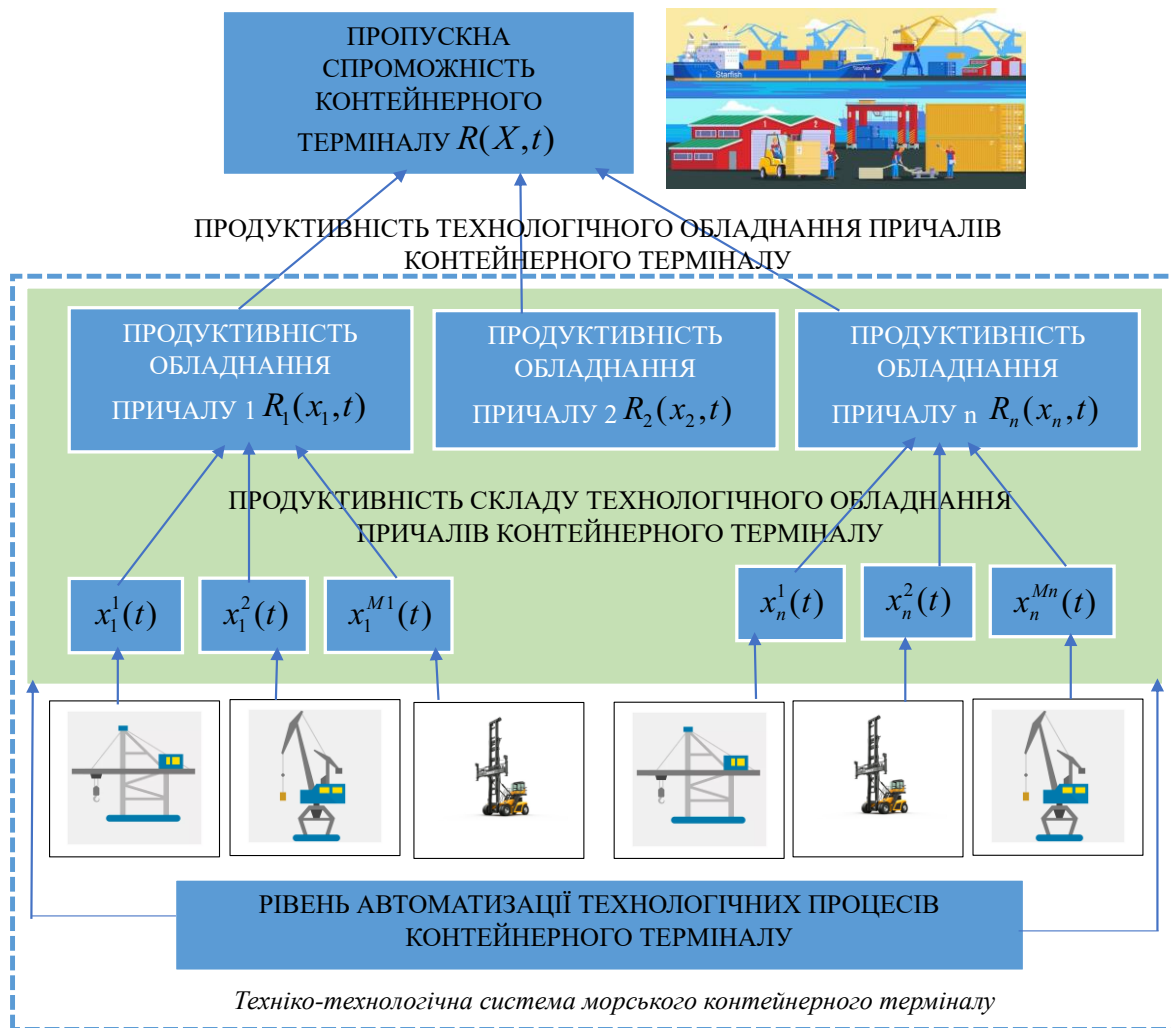


Рисунок 3 – Пропускна спроможність контейнерного терміналу як інтегральна характеристика відповідної техніко-технологічної системи

$$R(X, t) = \sum_{i=1}^n R_i(x_i, t), \tag{6}$$

де $R_i(x_i, t), i = \overline{1, n}$ - пропускна спроможність (продуктивність технологічного обладнання) i -го причалу; $x_i, i = \overline{1, n}$ - параметри, які характеризують продуктивність технологічного обладнання причалу; $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ - параметри, які характеризують елементи техніко-технологічної системи терміналу – складові технологічного обладнання. В свою чергу, продуктивність технологічного обладнання причалів залежить від продуктивності відповідного технологічного устаткування:

$$R_i(x_i, t) = C_i(x_i^1(t), x_i^2(t), \dots, x_i^{M_i}(t)), \quad (7)$$

де C_i - функція, яка описує залежність пропускної спроможності i -го причалу контейнерного терміналу від продуктивності складу технологічного обладнання та устаткування; M_i - кількість обладнання на i -причалі; $x_i^1(t), x_i^2(t), \dots, x_i^{M_i}(t)$ - відповідно, продуктивності технологічного устаткування причалу. Таким чином, сукупність параметрів $\bigcup_{i=1}^n \{x_i^1(t), x_i^2(t), \dots, x_i^{M_i}(t)\}$ визначає пропускну спроможність контейнерного терміналу.

Отже, з урахуванням викладеного вище, шляхом декомпозиції отримаємо наступні умови сталого функціонування портового контейнерного терміналу як техніко-технологічної системи:

$$P((R'_i(x'_i, t) - R^f_i(x_i^f, t) \leq \Delta R'_i(t)) \geq p_{\gamma i}, i = \overline{1, n}, t = 1, 2, 3, \dots, T, \quad (8)$$

де $R'_i, \Delta R'_i$, відповідно, планова продуктивність (пропускна спроможність) та її припустиме зменшення для i -ого причалу, R^f_i - фактична пропускна спроможність. Умови (8) інтерпретуються наступним чином: у кожний момент часу ймовірність того, що пропускна спроможність причалу терміналу вище, ніж певний рівень $p_{\gamma i}$, який можна вважати достатнім для забезпечення сталого функціонування. Отже:

$$\begin{aligned} P((R'(X', t) - R^f(X^f, t) \leq \Delta R'(t)) = \\ = \prod_{i=1}^n P((R'_i(x'_i, t) - R^f_i(x_i^f, t) \leq \Delta R'_i(t)) \geq \prod_{i=1}^n p_{\gamma i} \geq p_{\alpha}, \\ i = \overline{1, n}, t = 1, 2, 3, \dots, T. \quad (9) \end{aligned}$$

В свою чергу, забезпечення виконання (8) та (9) потребує виконання аналогічних умов для параметрів, які характеризують продуктивність кожного елемента зі складу техніко-технологічного обладнання кожного причалу. Слід зазначити, що ключова роль при забезпеченні певного рівня продуктивності технологічних комплексів причалів належить порталним контейнерним перевантажувачам, тому що саме вони здійснюють безпосередньо процес розвантаження/навантаження суден. Інше обладнання та устаткування має більш мобільний характер, тому, якщо для окремих їх елементів порушується стале функціонування, це, як правило, не призводить до порушення сталого функціонування технологічного комплексу причалу та терміналу у цілому. Тому для забезпечення виконання умови (8), перш за все, необхідним є забезпечення сталого функціонування порталних контейнерних перевантажувачів.

З урахуванням даного факту умови сталого функціонування техніко-технологічної системи контейнерного терміналу слід звужити, не розглядаючи усі елементи, а тільки основні, у даному випадку - причальних контейнерних перевантажувачів. Нехай серед елементів множини $\bigcup_{i=1}^n \{x_i^1(t), x_i^2(t), \dots, x_i^{M_i}(t)\}$ виділено підмножину параметрів, які характеризують продуктивність порталних контейнерних перевантажувачів. Не обмежуючи загальності, приймаємо:

$$\bigcup_{i=1}^n \{x_i^1(t), x_i^2(t), \dots, x_i^{L_i}(t)\} \subset \bigcup_{i=1}^n \{x_i^1(t), x_i^2(t), \dots, x_i^{M_i}(t)\}, \quad (10)$$

де $L_i, i = \overline{1, n}$ - кількість причальних контейнерних перевантажувачів i -го причалу. До даної множини також можна додати ще тилові контейнерні перевантажувачі, якщо вони для даного терміналу грають також вагомий роль та досить сильно впливають на пропускну спроможність терміналу. У будь якому випадку, стале функціонування терміналу на практиці залежить не від усіх складових техніко-технологічної системи, а тільки від її підмножини, яку необхідно визначити з урахування особливості терміналу. У такому разі можна сформулювати наступну схему (рис.4) на базі рис.3, яка відображає концепцію формування множини умов сталого функціонування техніко-технологічної системи морського контейнерного терміналу.

Отже, дані умови:

$$P((x_i^{k'}(t) - x_i^{f k}(t) \leq \Delta x_i^{k'}(t)) \geq p_{ik}, k = \overline{1, L_i}, i = \overline{1, n}, t = 1, 2, \dots, T, \quad (11)$$

де $x_i^{k'}(t)$ - планова продуктивність k-го устаткування з множини основних; $x_i^{f k}(t)$ - фактична продуктивність k-го устаткування з множини основних; $\Delta x_i^{k'}(t)$ - припустиме відхилення фактичної продуктивності k-го устаткування з множини основних від запланованого рівня; p_{ik} - ймовірність забезпечення необхідного рівня продуктивності.

Наприкінці слід зазначити, що поняття «стале функціонування» не тотожно поняттю «надійність», яке характеризує здатність до безвідмовної роботи протягом заданого проміжку часу у визначених умовах. Стале функціонування передбачає, перш за все, забезпечення певного рівня параметрів виробництва. Тому якщо навіть відбудеться «відмова» окремих елементів транспортно-технологічної системи, то у системи є можливість продовжувати виконання функції у певних обсягах завдяки наявним резервам, або можливості повертатися протягом певного періоду часу до необхідного стану (подолання відмови). Саме тому, при формуванні умов сталого функціонування прийнято, що відповідні параметри можуть відрізнятися від планованих, але на певну величину. Слід також зауважити, що коли визначається продуктивність устаткування $x_i^{k'}(t)$ (наприклад, портальних перевантажувачів), то, як правило, не розглядається їх використання протягом 24 годин за добу, отже приймається коефіцієнт використання на рівні 0,7-0,8, що також формує певний запас продуктивності та, як наслідок, запас пропускну здатності технологічних комплексів причалу та терміналу у цілому.

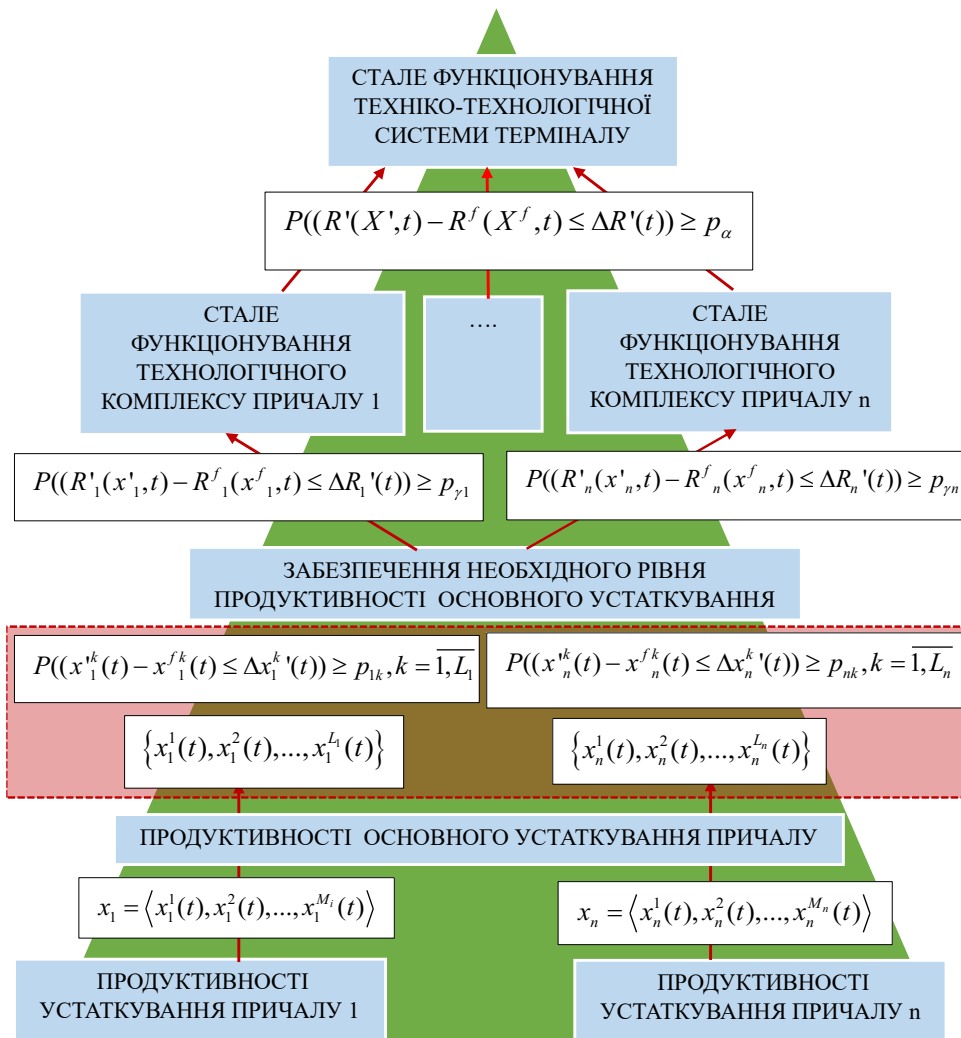


Рисунок 4 – Концепція формування множини умов сталого функціонування техніко-технологічної системи морського контейнерного терміналу

Для виробничих підприємств, чия діяльність базується на відповідній виробничій системі, з використанням технічних засобів та обладнання (наприклад, для терміналів морських торгових портів), базисом для сталого функціонування є насамперед забезпечення необхідних виробничих параметрів – наприклад, продуктивності, пропускної спроможності тощо. Тобто базою задля забезпечення сталого функціонування підприємства, перш за все, є стійке функціонування його техніко-технологічної системи.

Визначено основні критерії сталого функціонування: забезпечення з певною ймовірністю показника (показників) функціонування в рамках коридору стійкості, у разі порушення сталого функціонування забезпечення з певною ймовірністю повернення до сталого стану у заданий час та наявність доступу до необхідних фінансових ресурсів.

Сформульовано умови сталого функціонування техніко-технологічної системи контейнерного терміналу на базі декомпозиції пропускної спроможності терміналу. Формалізація умов сталого функціонування техніко-технологічної системи підприємств контейнерного терміналу здійснена з використанням теорії ймовірностей при припущенні, що продуктивність технологічного обладнання, пропускна спроможність причалів та терміналу в цілому є випадковими величинами, на рівень яких впливає множина факторів як внутрішніх, так й зовнішніх. Викладені результати складають теоретичну базу для подальшої розробки методів та засобів забезпечення сталого функціонування морських контейнерних терміналів.

Висновки. В рамках даного дослідження сформульовані основні теоретичні положення щодо визначення сутності, критеріїв та умов сталого функціонування техніко-технологічної системи контейнерного терміналу як основи сталого функціонування терміналу. Під сталим функціонуванням виробничого підприємства розумітимемо практичну відповідність фактичних показників функціонування заданим (плановим) під впливом різних факторів як зовнішнього, так і внутрішнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kyryllova O., Kyryllova V. The theoretical foundations of spatial and functional evolution of ports. *Транспортні системи і технології*. 2022. 1. 170-189. DOI: 10.32703/2617-9040-2022-40-15.
2. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. «Smart Ports» як інноваційний вектор технологічної трансформації та цифровізації портів: від ідеї до концепції та практичної реалізації. *Розвиток транспорту*. 2024. № 4(23). 77-95. DOI: [10.33082/td.2024.4-23.07](https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.07).
3. Решетков Д.М., Онищенко С.П., Павлова Н.Л., Кириллова В.Ю. Сутність, переваги та проблеми автоматизації контейнерних терміналів морських портів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Том 34 (73) № 2. С. 194–202. DOI: 10.32782/2663-5941/2023.2.2/33
4. Kon W.K., Rahman N.S., Hanafiah R.M. Hamid S.A. The global trends of automated container terminal: A systematic literature review. *Maritime Business Review*. 2020. 6. P. 206–233
5. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Діджиталізація як шлях до забезпечення екологічності, безпеки і сталого функціонування морської галузі. 2-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 27-9 квітня 2021 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 21-23.
6. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю., Магамадов О.Р. Поняття «Smart Port» у контексті глобальних тенденцій інтеграції інтелектуальних транспортних та інформаційних технологій у портовій індустрії. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 35(74), № 5, 2024. 81-87. DOI: [10.32782/2663-5941/2024.5.2/14](https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.2/14).
7. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю., Магамадов О.Р., Ромах В.Л. (2024). Smart port: новітні технології і міжнародний досвід їх упровадження. *Transport development*. 2024. С.62-74. DOI: 10.33082/td.2024.2-21.06.
8. Бондаренко Ю.А., Онищенко С.П. Структура та невизначеність контейнеропотоків у системі морських перевезень. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки*, Том 35 2024. (74), № 1. С. 139-146.
9. Берестенко В., Онищенко С. Ймовірнісні характеристики мультимодальної доставки. *Розвиток транспорту*. 2021. Vol. 1(12), P. 118-128 DOI: 10.33082/td.2022.1-12.10

10. Гнатієнко О., Дружинін В. Сучасні тенденції забезпечення функціональної стійкості складних організаційних систем. *Управління розвитком складних систем*. 2025. (60), 13–17. DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.13-17
11. Висоцька І.Б. Теоретичні підходи до поняття «стійкість системи». *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Серія економічна*. 2017. Випуск 2. С. 13-23.
12. Mogylevych D. , Sboiev R. Analysis of functional safety of electronic communication system equipment. *Collection Information technology and security*. 2023. N11. 96-105. DOI: 10.20535/2411-1031.2023.11.1.283816.
13. Барабаш О., Макачук А., Саланда І. Дослідження ймовірнісного показника функціональної стійкості розподілених інформаційних систем. *Measuring and computing devices in technological processes*. 2024. N1. С. 45–50. DOI: 10.31891/2219-9365-2024-77-6
14. Собчук В.В. Основи забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем підприємств в умовах впливу дестабілізуючих факторів: монографія / В.В. Собчук, О.В. Барабаш, А.П. Мусієнко. К: Міленіум. 2022. 272 с.
15. Калашник Г., Калашник-Рибалко М. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтегрованого комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна та перспективні напрямки його розвитку. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2021. С. 7-15. DOI: 10.30748/zhups.2021.68.01.
16. Мелешенко Катерина Сергіївна. Забезпечення сталого функціонування вантажопасажирських поромів: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01. - Одеса, 2018. 236 с.

REFERENCES

1. Kyryllova O., Kyryllova V. The oretical foundations of spatial and functional evolution of ports. *Transport systems and technologies*. 2022. 1. 170-189. DOI: 10.32703/2617-9040-2022-40-15.
2. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. "Smart Ports" as an innovative vector of technological transformation and digitalization of ports: from idea to concept and practical implementation [«Smart Ports» yak innovatsiynnyy vektor tekhnolohichnoyi transformatsiyi ta tsyfrovizatsiyi portiv]. *Transport Development*. 2024. No. 4(23). 77-95. DOI: 10.33082/td.2024.4-23.07. [in Ukrainian]
3. Reshetkov D.M., Onyshchenko S. P., Pavlova N. L., Kyryllova V. Y . The essence, advantages and problems of automation of container terminals of sea ports. [Sutnist', perevahy ta problemy avtomatyzatsiyi konteynerykh terminaliv mors'kykh portiv]. *Scientific notes of the Tavria National University V.I. Vernadsky [Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V.I. Vernads'koho. Seriya: Tekhnichni nauky]*. 2023. 34 (73) № 2. P. 194–202. DOI: 10.32782/2663-5941/2023.2.2/3[in Ukrainian]
4. Kon W.K., Rahman N.S., Hanafiah R.M. Hamid S.A. The global trends of automated container terminal: A systematic literature review. *Maritime Business Review*. 2020. 6. P. 206–233
5. Kirillova O.V., Kirillova V.Yu., Magamadov O.R., Romakh V.L. Smart port: latest technologies and international experience of their implementation. [Smart port: novitni tekhnolohiyi i mizhnarodnyy dosvid yikh uprovdzhennya] *Transport development*. 2024. P.62-74. DOI: 10.33082/td.2024.2-21.06. [in Ukrainian]
6. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Yu., Magamadov O.R. The concept of "Smart Port" in the context of global trends in the integration of intelligent transport and information technologies in the port industry [Ponyattya «Smart Port» u konteksti hlobal'nykh tendentsiy intehratsiyi intelektual'nykh transportnykh ta informatsiynykh tekhnolohiy u portoviyi industriyi]. *Scientific notes of the V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences. Volume 35(74), No. 5, 2024. 81-87. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.5.2/14. [in Ukrainian]*
7. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Yu., Magamadov O.R., Romakh V.L. Smart port: new technologies and international experience in their implementation [Smart port: novitni tekhnolohiyi i mizhnarodnyy dosvid yikh uprovdzhennya.]. *Transport development*. 2024. C.62-74. DOI: 10.33082/td.2024.2-21.06. [in Ukrainian]

8. Bondarenko Yu. A., Onyshchenko S. P. Structure and uncertainty of container flows in the maritime transport system [Struktura ta nevyznachenist' konteyneropotokiv u systemi mors'kykh perevezen'] Academic notes of the Tavri National University V.I. Vernadskyi, Series: Technical Sciences, Volume 35 (74), No. 1, 2024, pp. 139-146. [in Ukrainian]
9. Berestenko V., Onyshchenko S. Probability characteristics of multimodal delivery [Ymovirnisni kharakterystyky mul'tymodal'noyi dostavky]. Transport development. 2021. Vol. 1(12), P. 118-128 DOI: 10.33082/td.2022.1-12.10 [in Ukrainian]
10. Hnatienko O., Druzhynin V. Modern trends in ensuring the functional stability of complex organizational systems [Suchasni tendentsiyi zabezpechennya funktsional'noyi stiykosti skladnykh orhanizatsiynykh system]. Management of the development of complex systems. 2025. (60), 13–17. DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.13-17 [in Ukrainian]
11. Vysotska I.B. Theoretical approaches to the concept of "system stability" [Teoretychni pidkhody do ponyattya «stiykist' systemy»] []. Scientific Bulletin of the Lviv State University of Internal Affairs. Economic Series. 2017. Issue 2. P. 13-23 [in Ukrainian]
12. Mogylevych D. , Sboiev R. Analysis of functional safety of electronic communication system equipment. Collection Information technology and security. 2023. N11. 96-105. DOI: 10.20535/2411-1031.2023.11.1.283816.
13. Barabash O., Makarchuk A., Salanda I. Research of the probabilistic indicator of the functional stability of distributed information systems [Doslidzhennya ymovirnisnoho pokaznyka funktsional'noyi stiykosti rozpodilenykh informatsiynykh system]. Measuring and computing devices in technological processes. 2024. N1. C. 45–50. DOI: 10.31891/2219-9365-2024-77-6 [in Ukrainian]
14. Sobchuk V.V. Fundamentals of ensuring the functional stability of information systems of enterprises under the influence of destabilizing factors: monograph [Osnovy zabezpechennya funktsional'noyi stiykosti informatsiynykh system pidpryyemstv v umovakh vplyvu destabilizuyuchykh faktoriv:] / V.V. Sobchuk, O.V. Barabash, A.P. Musienko. K: Millennium. 2022. 272 p. [in Ukrainian]
15. Kalashnik G., Kalashnik-Rybalko M. Signs and criteria of functional stability of the integrated complex of on-board equipment of a modern aircraft and promising directions of its development [Oznaky ta kryteriyi funktsional'noyi stiykosti intehrovanoho kompleksu bortovoho obladnannya suchasnoho povitryanoho sudna ta perspektyvni napryamky yoho rozvytku.]. Collection of scientific papers of the Kharkiv National University of the Air Force. 2021. S. 7-15. DOI: 10.30748/zhups.2021.68.01 [in Ukrainian]

Kyryllova O.V., Larina I.M.

CRITERIA AND CONDITIONS OF PORT CONTAINER TERMINAL SUSTAINABLE OPERATION

The purpose of the study is to develop criteria and conditions for the sustainable operation of container terminals of the port to ensure their efficiency and competitiveness, as well as to ensure the sustainable operation of the country's transport industry. The result of the study is the main theoretical provisions on determining the essence, criteria and conditions for the sustainable operation of the technical and technological system of the container terminal as the basis for the sustainable operation of the terminal. It has been established that under the sustainable operation of a production enterprise we will understand the practical compliance of the actual indicators of operation with the specified (planned) under the influence of various factors of both the external and internal environment. For production enterprises whose activities are based on the corresponding production system, using technical means and equipment (for example, for terminals of sea commercial ports), the basis for sustainable operation is primarily ensuring the necessary production parameters - productivity, throughput, etc. p. That is, the basis for ensuring the sustainable operation of the enterprise, first of all, is the sustainable operation of its technical and technological system. The main criteria for sustainable operation are determined: ensuring with a certain probability the indicator (indicators) of operation within the stability corridor; in case of a violation of sustainable operation, ensuring with a certain probability a return to a stable

state at a given time and having access to the necessary financial resources. The conditions for the sustainable operation of the technical and technological system of the container terminal are formulated on the basis of the decomposition of the terminal's throughput capacity. The formalization of the conditions for the sustainable operation of the technical and technological system of container terminal enterprises is carried out using probability theory under the assumption that the productivity of technological equipment, the throughput capacity of berths and the terminal as a whole are random variables, the level of which is influenced by a set of factors, both internal and external. The presented results constitute a theoretical basis for further development of methods and means of ensuring the sustainable operation of marine container terminals.

Keywords: *container transportation, container terminal, probability, throughput, technological equipment, operational work, overloading, risk, infrastructure, technological processes, delivery process, port, logistics*

Стаття прийнята 10.03.2025