

КРУК Ю.Ю.

Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України, м.Одеса-65044,
Французький бульвар, 29, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: kruk.yurii.2@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7794-7452>

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗВИТКУ СТИВІДОРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ЧЕРГ І ТЕОРІЇ ЗАПАСІВ

Актуальність. Економіко-організаційні перетворення, які в даний час відбуваються на морському транспорті України, призвели до істотних змін в системі управління галуззю, значного зниження частки державної участі в управлінні процесами перевезення і перевантаження зовнішньоторговельних вантажів, виникнення множини самостійних перевізників і стивідорних компаній портових терміналів. Це призвело до формування вітчизняного конкурентного середовища і посилення конкуренції на міжнародному ринку транспортних послуг. У цих умовах українські підприємства морського транспорту, зокрема, стивідорні компанії портових терміналів виявилися схильними до впливу мінливих обставин ринкового середовища і зіткнулися з необхідністю ефективного регулювання свого розвитку в зазначених умовах з боку Міністерства інфраструктури України. Однією з головних особливостей конкурентної боротьби термінальних операторів є необхідність їх участі в логістичних ланцюгах доставки вантажів, що сприяє зміцненню їх конкурентних позицій на ринку стивідорних послуг. В сучасних умовах успіх здійснення стивідорної діяльності визначається тим, наскільки вдало компанії здатні адаптуватися до ринкових умов функціонування. Мінливість ринкового середовища в сфері стивідорних послуг вимагає застосування нових методів управління перевантажувальним процесом, заснованих на адаптивності, гнучкості не тільки управлінських рішень, а й самої організаційної структури системи управління роботою портового терміналу. При розробці управлінських рішень, які стосуються розвитку портових інфраструктур морської галузі треба враховувати деяку невизначеність ринкового середовища, а також форс-мажорні фактори, що присутні морському бізнесу. Тому для підвищення ефективності роботи стивідорних компаній в Україні потрібні відповідні дослідження, що дозволять розробити концептуальні засади цієї діяльності у морських портах регіонів, а також відповідні методичні положення, які можуть використовуватися портовими операторами та адміністрацією морських портів України у своїй повсякденній діяльності.

Незважаючи на численні теоретичні та прикладні напрацювання в сфері управління стивідорною діяльністю та економічного обґрунтування проектів створення або реконструкції портових терміналів, невирішеними залишаються питання щодо методологічних основ обґрунтування пріоритетних напрямів розвитку елементів портової інфраструктури в умовах ринкової невизначеності, ризику та конкуренції.

Мета та завдання. Метою статті є розробка методу оптимального розподілу інвестицій між портовими терміналами регіону в умовах випадкового коливання вантажопотоків та конкуренції методами дослідження операцій, а також з урахуванням методу NPV.

Результати. Запропоновано методичний підхід до визначення оптимального розподілу інвестицій на створення причалів між терміналами портів даного регіону, який засновано на використанні методів теорії черг та теорії запасів. Портові термінали формалізовано описані як пуассон-ерлангівські багатоканальні системи масового обслуговування зі складами для збереження вантажу, причому інтенсивності потоків суден, що прибувають на термінали вважаються деякими заданими небуваючими функціями кількостей причалів. Наведено метод знаходження очікуваного поточного прибутку оператора кожного терміналу в аналітичному вигляді (у сталому режимі роботи терміналів) та сформульовано задачу дискретної оптимізації розподілу інвестицій між терміналами регіону при обмеженому загальному інвестиційного фонду.

Висновки. Розроблений у статті метод оптимізації розподілу інвестицій у розвиток терміналів портів регіону дозволяє підвищити ефективність їх роботи в умовах випадкового коливання вантажопотоків та з урахуванням очікуваного завантаження (рівня використання) причальних споруд як основних технологічних елементів терміналів. Запропонований метод, який засновано на сполученні методів теорії черг та теорії запасів, дає можливість прийняти рішення щодо оптимальному розподілу інвестицій з урахуванням невизначеності та впливаючого з неї ризику руйнування операторів терміналів. У подальших дослідженнях за даною проблематикою представляє теоретичний та практичний інтерес узагальнення наведеного підходу на випадок можливої конкуренції усіх або декількох стивідорних компаній, які розташовані у даному регіоні.

Ключові слова: портові термінали, багатоканальні обслуговуючі системи, склади, збереження вантажів, очікуваний поточний прибуток, метод NPV, інвестиції, оптимізація числа причалів.

KRUK Yu.Yu.
Institute Of Market Problems And Economic&Ecological Research of the
National Academy Of Sciences Of Ukraine
Frantsuzskiy Boulevard, 29, Odessa, Ukraine
E-mail: kruk.yurii.2@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7794-7452>

ECONOMIC JUSTIFICATION OF STEVEDORING ACTIVITY DEVELOPMENT IN UKRAINE ON THE BASIS OF QUEUEING AND STORAGE THEORIES

Topicality. Recent economic-organizational transformations in maritime branch of Ukrainian economics influenced the essential changes in the system of its management, leads up to essential decreasing of state regulation of transportation and transshipment of cargo, to appearance of set independent shipping and stevedoring companies of ports terminals. This fact leads up to the national competition environment's formation and to increasing the competition in international transportation market. Under these circumstances the Ukrainian enterprises of maritime sector of economics, in particular stevedoring companies of ports terminals are subjected to influences of market's instability and are faced to necessity of effective regulation of their development from the side of Ministry of infrastructure of Ukraine. One of the main specific features of competition struggle among operators of port's terminals is necessity of their participation in logistic supply chains of cargo delivery what can strengths their competitive position in the market of stevedoring service. Under modern conditions the successful stevedoring activity is determined by ability of the companies to exchangeable market's conditions adaptation. Variability of market's environment in the sphere of stevedoring service demands application of new methods of management of cargo transshipment which must be based on adaptation and flexibility not only managerial decisions but organization structure of stevedoring company itself. When developing the managerial decisions related to port's infrastructure development it is necessary to take into account the uncertainty of market's environment and force major factors that are inherent to maritime business, as well. That is why for increasing the effectiveness of Ukrainian stevedoring companies activities the corresponding researches are needed that will allow to develop the conceptual foundations of this activities in the sea ports of regions and corresponding methodical aids that can be used by ports operators and administrations of Ukrainian commercial sea ports in their everyday activity.

Despite of the existence of number theoretical and applied works in the field of stevedoring companies activity and economic justification of projects of creation or reconstruction of port's terminals there exists a lot of unsolved problems concerning methodological foundation of priority directions of ports infrastructure elements development under market's uncertainty, risks and competition.

Aim and tasks. The aim of article is development of method for optimal distribution of investments among port terminals in a region under random fluctuation of cargo flows and competition taking into account the method NPV – Net Present Value – for evaluation of economic results of stevedoring activities.

Research results. The methodical approach is proposed for optimal distribution of investments determination directed on creation of berths for terminals of seaports located in same region. It is based on results of queueing and storage theories. The ports terminals are presented as the multi-channel queueing systems of the Poisson-Erlang type with warehouses for cargo storage. Besides, it is supposed that rates of Poisson streams of ships are the non-decreasing functions of number of berths of corresponding terminal. The method of mean current profit of terminal's operator determination is proposed (for steady-state regime) and discrete optimization problem for number of berths determination is formulated under restricted investment fund.

Conclusions. The method of optimal distribution of investments directed on development of ports terminals of a region is proposed. It may be a tool for decision making for State Administration of Sea Ports. Its application allow to increase the effectiveness of terminal operators activity under random fluctuation of cargo flows and taking into account possibility of their ruin. The method proposed is based on results of queueing and storage theories. In the further researches in this direction it is interesting, from theoretical and practical points of view, its generalization for the case of competition among terminals operators.

Key words: Port's terminals, multichannel queueing systems, warehouses, storage of cargo, expected current profit, NPV method, investments, optimization of berths numbers.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Концептуальні засади підвищення економічної ефективності стивідорної діяльності у морських портах України в ринкових умовах у даний час перебувають в стані постійних трансформацій відповідно до міжнародного досвіду. У країнах ЄС держави оказують активну інвестиційну підтримку розвитку як окремих портів, так і регіонів. Цей досвід відображено у загальному огляді у Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 р. [1]. Досягнення високого рівня

конкурентоздатності морських портів країн Європи забезпечується завдяки їх підтримці на місцевому, регіональному та державному рівнях, як стратегічно важливих галузей економіки з врахуванням їх спеціалізації та виробничому потенціалу. Діючий Закон України «Про морські порти України» відкриває широкі можливості для інвестування розвитку портових терміналів у країнах ЄС держави оказують активну інвестиційну підтримку розвитку як окремих портів, так і регіонів [2].

Для морської галузі України європейські тренди регіонального розвитку також є актуальними, оскільки гостро стоїть проблема залучення інвестиційних ресурсів та є необхідність в стимулюванні розвитку різних форм державно-приватного партнерства [2].

Важливим завданням для практичного впровадження Закону України «Про морські порти України» є розробка методичного інструментарію щодо складання і оформлення пріоритетних інвестиційних проектів в морських регіонах з метою напрацювання наукового і прикладного інструментарію.

При техніко-економічному обґрунтування створення нових або реконструкції існуючих портових терміналів (портових перевантажувальних комплексів), як відомо [3–8], широко використовуються методи таких теорій, як теорія масового обслуговування (ТМО) і теорія запасів. Формалізований опис функціонування портових терміналів у термінах вказаних теорій дозволяє науково обґрунтовано вирішити такі практично важливі завдання, як наприклад:

а) оцінити кількісно низку показників, що характеризують ефективність обслуговування транспортних засобів (ТЗ) (середні ділини їх черг до причалів, ступінь використання різних видів виробничих потужностей порту, середній час знаходження ТЗ у черзі в очікуванні початку обробки і час їх навантаження/вивантаження та ін.);

б) оцінити витрати та економічні результати діяльності портових операторів за деякий період часу.

Треба відмітити, що вирішення цих двох завдань повинно здійснюватися взаємно узгоджено, оскільки значення економічних показників безпосередньо залежать від показників, що відображують ефективність експлуатації терміналів. Останні ж залежат від техніко-експлуатаційних параметрів терміналів: довжини причального фронту, глибин у причалів, інтенсивностей виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, місткостей складів, пропускних здатностей припортових залізничних станцій та ін. Перелічені параметри є управляемими змінними та повинні визначатися, виходячі з мінімального або максимального значення деякої цільової функції. У якості останньої, в практиці технологічного проектування портів у даний час, використовується максимальне значення чистого грошового потоку (Net Present Value – NPV), який одержується в результаті оперування терміналами, що проектуються [6].

Аналіз останніх публікацій по проблемі. В літературі, присвяченій моделюванню роботи портових терміналів, протягом значного часу використовувались готові моделі обслуговуючих систем, які слабо враховували специфіку роботи портів [3,4]. Однак класичні моделі ТМО, було розроблено в основному для рішення задач проектування телекомунікаційних систем, для більшої кількості транспортних систем вони є малопригодними. Так, наприклад, вони зовсім не враховують фактор взаємодії зустрічних транспортних потоків на терміналі, а для опису цих потоків використовується тільки модель однорідного пуассонівського потоку. У той же час, при наявності регулювання роботи транспорту (наприклад, при лінійному судноплаванні) потоки ТЗ, прибуваючих на термінал, вже не є пуассонівськими, але мають певну ступінь регулярності. Перші дослідження, що були присвячені моделюванню взаємодії транспортних потоків в порту у припущенні необмежених пропускних здатностей фронтів навантаження-розвантаження, було виконано ще у 70–80-х рр. минулого сторіччя [3,4]. У останні дві декади акцент в дослідженнях було зроблено на побудові та аналізі стохастичних моделей роботи портових терміналів з врахуванням скінченої пропускної здатності навантажувальних та розвантажувальних фронтів. У монографії [5] відображено рівень досліджень даної проблеми до 2006 р., у котрій наведено стохастичні моделі транспортно-складських систем з обмеженою пропускною спроможністю, побудовані за допомогою сполучення методів теорії запасів і ТМО. Однак в неї було досліджено аналітичними методами в основному тільки відносно прості моделі взаємодії транспортних потоків, у котрих один з потоків є рівномірним, тобто характеризується постійною інтенсивністю завою (вивезення) вантажу. У той же час реальні транспортні потоки мають більшу або меншу ступінь нерегулярності і тому представляє інтерес дослідження саме цього теоретично більш складного випадку. В обзорній статті

[9] наведено обзор літератури щодо планування роботи мультимодального транспорту, систематизовано відомі результати по плануванню роботи мультимодального та інтермодального транспорту на стратегічному, тактичному і операційному рівнях. Однак наведені результати відносяться тільки до детермінованих умов роботи транспорту, фактори невизначеності, що відіграють важливу роль у роботі морського транспорту, в неї не розглядаються. В роботах [5–7] проблема взаємодії різних видів транспорту і його вплив на пропускну здатність порту (терміналів) не розглядаються, хоча координація різних видів транспорту має важливе значення при організації мультимодальних перевезень. У статті [10] розглядається задача оптимального управління розстановкою суден по причалах в порту з використанням стохастичної динаміки, однак не досліджувалась споріднена проблема коливання рівня запасу вантажу на складах. В роботі [11] вирішується проблема оптимального розташування транспортного вузлу (хаба) на транспортній мережі за допомогою методів ТМО з урахуванням обмеженої пропускну спроможності хабу, представленого у вигляді обслуговуючої системи із чергою. Однак при цьому виникнення черг ТЗ при взаємодії транспортних потоків у хабі не враховувалось. У статті [12] аналітичними методами (за допомогою спеціального класу марковських процесів – марковських процесів зі знесенням) достатньо повно досліджено моделі взаємодії (за участю склада) транспортних потоків на терміналі для випадку, коли один из потоків ТЗ (навантажених або порожніх) є рівномірним, а другий описується моделлю пуассонівського потоку. У випадку же взаємодії двох нерівномірних транспортних потоків через значні аналітичні труднощі у межах марковських моделей вдалося вивчити тільки самий простий випадок взаємодії двох одиничних ТЗ. Для подолання виникаючих математичних труднощів і отримання шуканого сумісного розподілу довжини черги ТЗ і кількості вантажу на складі необхідно зробити ті чи інші спрощуючі припущення, наприклад, про нескінчену пропускну спроможність одного з фронтів навантаження/розвантаження ТЗ, про необмеженість місткості складу та ін. В [13] методами марковських процесів зі знесенням досліджувався вплив ступеню регулярності руху суден на рівень запасу вантажу на складі терміналу у припущенні рівномірності його завезення на термінал наземним транспортом. Однак у цитованих роботах портовий термінал розглядався як автономна транспортна система, яка не взаємодіє із іншими аналогічними системами на даному локальному ринку стивідорних послуг. Враховуючі, що в умовах дії Закону України «Про морські порти» підтримка основних виробничих потужностей портів у надійному технічному стані має бути забезпеченою Міністерством інфраструктури України та його відповідними регіональними філіями, а саме Державними адміністраціями морських портів України, то виникає проблема ефективного розподілу між портами регіону відповідних інвестицій, спрямованих на їх розвиток.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на численні теоретичні та прикладні напрацювання в сфері моделювання та аналізу роботи портових терміналів, невирішеними залишаються питання щодо методологічних основ регулювання розподілу інвестицій між терміналами регіону з боку Міністерства інфраструктури України в умовах ринку. В більш конкретному і прикладному аспекті актуальною є проблема розробки таких методичних положень, які дозволяють ефективно здійснювати контроль з боку Міністерства інфраструктури за розвитком виробничих потужностей портових терміналів, що є головною умовою здійснення ефективної стивідорної діяльності.

Формулювання цілей дослідження (постановка завдання). Метою статті є розробка методу оптимального розподілу інвестицій між портовими терміналами в регіонах України в умовах невизначеності та ризику на підставі теорій черг та запасів, а також з урахуванням методу NPV.

Виклад основних результатів та їх обґрунтування. В основі метода, що пропонується, полягають економіко-математичні моделі терміналів, для побудови яких доцільно використовувати сполучення методів теорії запасів і теорії черг [5]. Будемо вважати, що кожний термінал включає n взаємозамінюючих причалів для вивантаження однорідного вантажу із суден. На термінал для вивантаження вантажу прибувають судна з вантажем. Будемо вважати, що інтервали часу між сусідніми прибуттями суден на термінал образують послідовність взаємно незалежних та однаково розподілених за законом $A(t)$ випадкових величин. У подальшому будемо вважати, що

$$A(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0,$$

де $1/\lambda$ – середній інтервал між сусідніми прибуттями суден на термінал. Це означає, що ймовірність прибуття на термінал k суден в інтервалі часу $(0, t)$ дорівнює

$$p_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, k = 0, 1, 2, \dots,$$

тобто потік суден описується пуассонівським процесом.

Зроблене припущення про статистичні закономірності руху суден та їх прибуттям порт ґрунтується на наступній аргументації:

* чисельними статистичними перевірками реальних потоків суден, які прибувають в великі морські порти із різних країн світу [3,4];

* експоненційний закон розподілу інтервалу часу між сусідніми прибуттями суден в порт створює дуже неблагоприємний режим для роботи системи масового обслуговування, оскільки він є прикладом суттєво випадкового, тобто слабко передбачаємого випадкового потоку: іншими словами, використовую цю модель, ми створюємо деякий резерв пропускної спроможності каналів обслуговування (тобто причалів терміналу) на випадок нерівномірного прибуття суден.

Чисті вантажопідйомності суден r_1, r_2, \dots також вважаємо взаємно незалежними випадковими величинами, які розподілені за одним і тим же законом розподілу $G(x)$.

Весь вантаж, який вивантажується із довільного судна із інтенсивністю W надходить до складу, місткість якого будемо, для спрощення, вважати достатньо великою (тобто будемо нехтувати можливістю додаткового простору судна під розвантаженням внаслідок відсутності вільної складської місткості). Зі складу вантаж вивозиться рівномірно із постійною інтенсивністю $U < nW$ (наприклад, залізничним транспортом).

Згідно зроблених припущень час вивантаження будь-якого судна є випадкова величина з функцією розподілу

$$B(t) = P\{\gamma_1 / W \leq t\} = G(Wt).$$

Таким чином, процеси прибуття і вивантаження суден (їх обслуговування) створюють n -канальну систему масового обслуговування типу $M/G/n$ з чеканням. З ТМО відомо [3–5], що такі системи досліджені аналітичними методами тільки у деяких окремих випадках, а саме:

а) $n = 1$, тобто у випадку одного каналу обслуговування;

б) $G(x) = 1 - e^{-x/g}, x \geq 0$, при $n \geq 1$,

де g – середнє навантаження судна (в цьому випадку $B(t) = 1 - e^{-\mu t}, t \geq 0$, де $1/\mu$ – середня тривалість вивантаження судна, $\mu = W/g$);

в) $G(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \geq g \\ 0, & \text{якщо } 0 < x < g \end{cases}$,

тобто у випадку постійної чистої вантажопідйомності усіх суден, яка дорівнює g .

У подальшому будемо використовувати відомі результати для СМО $M/G/n$, які відносяться тільки до випадків а) та б).

Згідно зробленим вище припущенням ми фактично прийшли до необхідності вивчення даже більш загальної системи, ніж обслуговуюча система $M/G/n$, а саме: двохфазної, першою фазою якою є причали сумісно із суднами (під обробкою та в черзі), а другою – склад для збереження вантажу.

Будемо розглядати роботу описаної транспортно-складської системи у сталому (або статистично рівноважному) режимі. Це означає, що у такому режимі середні числа прибувчих та оброблених в одиницю часу суден співпадають між собою, а також середня кількість вантажу, який

прибув в одиницю часу на склад, дорівнює середньої кількості вантажу, що був вивезеним зі складу в одиницю часу. Відмітимо, що час вхождення реальних технічних та виробничих систем у сталий режим звичайно є дуже малим у порівнянні зі строком окупності системи.

Позначимо через $Q(t)$ кількість вантажу, що знаходиться на складі у момент часу t . У [5] показано, що граничний розподіл випадкового процесу $Q(t)$ існує за умови:

$$\lambda g_1 < U, g_1 = \int_0^{\infty} x dG(x) < \infty.$$

При цьому середнє значення кількості вантажу на складі (тобто математичне сподівання) визначається за наступними формулами [5,6]:

а) $n = 1$, $G(x)$ – довільна функція розподілу –

$$MQ = \frac{\lambda g_2}{2} \left(\frac{1}{U - \lambda g_1} - \frac{1}{W - \lambda g_1} \right), \quad (1)$$

$$\text{де } g_2 = \int_0^{\infty} x^2 dG(x);$$

б) $n = 2$, $G(x) = 1 - e^{-x/g}$ –

$$MQ = g\rho \left[\frac{1}{1-\rho} - \frac{\beta}{1 - \left(\frac{\rho\beta}{2}\right)^2} \right], \text{ якщо } U \leq W; \quad (2)$$

$$MQ = g\rho \left[\frac{1}{1-\rho} - \frac{\beta}{1 - \left(\frac{\rho\beta}{2}\right)^2} \right] + \frac{g}{1-z_0}, \text{ якщо } W < U < 2W, \quad (3)$$

де $\rho = \frac{\lambda g}{U} < 1, \beta = U/W; z_0$ – єдиний негативний корень кубичного рівняння

$$z^3 + \frac{\rho + 2 - \beta}{\rho(\beta - 1)} z^2 - \frac{z}{\rho(\beta - 1)} - \frac{1}{\rho^2(\beta - 1)} = 0.$$

Для довільного n у монографії [5] наведено чисельний алгоритм для знаходження MQ . Оцінімо тепер середнє значення фінансового результату від експлуатації портового терміналу. Для цього введемо додатково наступні позначення: $\Pi(t)$ – розмір прибутку портового оператора від експлуатації терміналу в момент часу t ; $D(t)$ – сумарний дохід, який одержує оператор в інтервалі часу $(0, t]$ за виконання навантажувально-розвантажувальних операцій та за збереження вантажу, причому

$$D(t) = a_1 \sum_{i=1}^{\omega(t)} \gamma_i + a_2 U \int_0^t I(Q(\tau) > 0) d\tau + d_{xp} \int_0^t Q(\tau) d\tau, \quad (4)$$

де a_1 – тарифна ставка за вивантаження 1т вантажу із судна на склад;

a_2 – тарифна ставка за відвантаження 1т вантажу зі складу;

$\omega(t)$ – число оброблених суден, за вивантаження яких в інтервалі часу $(0, t]$ володарем судна (фрахтователем), було перераховано платня на розрахунковий рахунок оператора;
 $I(A)$ – індикатор події A , тобто $I(A) = 1$, якщо подія A настає, $I(A) = 0$ у протилежному випадку;
 $R(t)$ – сумарні витрати у інтервалі $(0, t]$, що пов'язані із експлуатацією терміналу, причому

$$R(t) = rt + r_{xp} \int_0^t Q(\tau) d\tau, \quad (5)$$

де r – постійні добові експлуатаційні витрати по терміналу; r_{xp} – добові витрати за збереження 1т вантажу на складі.

З урахуванням прийнятих позначень та формул (4), (5) можна записати

$$\begin{aligned} \Pi(t) = \Pi(0) + (D(t) - R(t))(1 - f) = \Pi(0) + \\ + [a_1 \sum_{i=1}^{\omega(t)} \gamma_i + a_2 U \int_0^t I(Q(\tau) > 0) d\tau + p_{xp} \int_0^t Q(\tau) d\tau - rt](1 - f), t \geq 0, \end{aligned} \quad (6)$$

де $p_{xp} = d_{xp} - r_{xp}$; f – ставка податку на прибуток.

Відмітимо, що оскільки $\Pi(t)$ є випадковий процес, то його можна вважати процесом фінансового ризику портового оператора. Під ризиком тут розуміється можливість прийняття $\Pi(t)$, наприклад, негативних значень. Математичне сподівання величини $\Pi(t)$ дорівнює

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\Pi(t) = \mathbf{M}\Pi(0) + [a_1 \mathbf{M}\omega(t)g + a_2 U \int_0^t \mathbf{P}\{Q(\tau) > 0\} d\tau + \\ + p_{xp} \int_0^t \mathbf{M}Q(\tau) d\tau - rt](1 - f), t \geq 0, \end{aligned}$$

а його похила –

$$(\mathbf{M}\Pi(t))' = [a_1 g(\mathbf{M}\omega(t))' + a_2 U \mathbf{P}\{Q(t) > 0\} + p_{xp} \mathbf{M}Q(t) - r](1 - f). \quad (7)$$

Оскільки, за припущенням, наша двохфазова транспортно-складська система працює у сталому режимі, то [4,5]

$$\mathbf{M}\omega(t) = \lambda t,$$

$$\mathbf{P}\{Q(t) > 0\} = \lambda g / U, \text{ при } n = 1,$$

$$\mathbf{P}\{Q(t) > 0\} = \lambda g / U, \text{ при } n = 2, U \leq W, \quad (8)$$

$$\mathbf{P}\{Q(t) > 0\} = \frac{\lambda g}{U} - \frac{1 - \rho}{(\beta - 1)(1 - z_0)}, \text{ при } n = 2, W < U < 2W.$$

Тому, з урахуванням ставки дисконту δ , з (7), (8) знаходимо середнє значення прибутку для періоду окупності T :

$$\int_0^T e^{-\delta t} (\mathbf{МП}\Pi(t))' dt = \frac{1 - e^{-\delta T}}{\delta} [\lambda g(a_1 + a_2) + p_{xp} \mathbf{MQ} - r](1 - f), \quad (9)$$

для $n = 1$ або $n = 2, U \leq W$

$$\int_0^T e^{-\delta t} (\mathbf{МП}\Pi(t))' dt = \frac{1 - e^{-\delta T}}{\delta} [\lambda g(a_1 + a_2) + p_{xp} \mathbf{MQ} - r - a_1 \frac{1 - \rho}{(\beta - 1)(1 - z_0)}](1 - f), \quad \text{для } n = 2, W < U < 2W. \quad (10)$$

В формулах (9), (10) вираз для \mathbf{MQ} визначається за формулами (1), (2) і (3).

Проект створення (або реконструкції) терміналу окупиться у середньому за період T , якщо прави частини рівностей (9), (10) будуть дорівнювати вартості проекту терміналу I_0 . Таким чином, очікуєий строк окупності складатиме

$$T = -\frac{1}{\delta} \ln \left\{ 1 - \frac{I_0 \delta}{[\lambda g_1(a_1 + a_2) + p_{xp} \mathbf{MQ} - r](1 - f)} \right\}, \quad (11)$$

якщо $n=1$ або $n=2, U < W$,

$$T = -\frac{1}{\delta} \ln \left\{ 1 - \frac{I_0 \delta}{[\lambda g_1(a_1 + a_2) + p_{xp} \mathbf{MQ} - r - a_1 \frac{1 - \rho}{(\beta - 1)(1 - z_0)}](1 - f)} \right\}, \quad (12)$$

якщо $n = 2, W < U < 2W$

Відмітимо, що формули (11), (12) мають сенс тільки при виконанні умови

$$I_0 \delta < (1 - f) [\lambda g(a_1 + a_2) + p_{xp} \mathbf{MQ} - r - a_1 \frac{1 - \rho}{(\beta - 1)(1 - z_0)}].$$

Розглянемо тепер сукупність з M портових терміналів регіону, причому функціонування кожного терміналу описується вище наведеною ймовірнісною моделлю. Тоді очікуєий прибуток оператора m -го терміналу із урахуванням інфляції складатиме (див. (7))

$$\int_0^T e^{-\delta t} (\mathbf{M}\Pi_m(t))' dt = \tag{13}$$

$$= \int_0^T e^{-\delta t} [a_{1m} g_m (\mathbf{M}\omega(t))' + a_{2m} U_m \mathbf{P}\{Q_m(t) > 0\} + p_{m\text{xp}} \mathbf{M}Q_m(t) - r_m] dt (1-f).$$

В формулі (13) усі показники мають попередній прежний сенс, але тільки для m -го терміналу (нижній індекс). Після інтегрування формула (13) прийме огляд (див. (9), (10)):

$$\int_0^T e^{-\delta t} (\mathbf{M}\Pi_m(t))' dt =$$

$$= \frac{1 - e^{-\delta T}}{\delta} [a_{1m} g_m \lambda_m + a_{2m} U_m \mathbf{P}\{Q_m > 0\} + p_{m\text{xp}} \mathbf{M}Q_m - r_m] (1-f).$$

Нехай Адміністрація морських портів України (АМПУ) планує виділити на розвиток m -го терміналу інвестиції у розмірі I_m . Будемо вважати, що ці інвестиції передбачені для будівництва причалів, причому

$$I_m = k_m n_m,$$

де n_m – заплановане число причалів на m -м терміналі, k_m – вартість будівництва одного причалу на m -му терміналі.

АМПУ виділяє для інвестування розвитку терміналів кошти у розмірі K . Задача полягає у визначенні таких значень чисел причалів на терміналах n_1, n_2, \dots, n_M , щоб сумарний очікуєий прибуток на одиницю часу операторів усіх терміналів

$$\sum_{m=1}^M [a_{1m} g_m \lambda_m + a_{2m} U_m \mathbf{P}\{Q_m > 0\} + p_{m\text{xp}} \mathbf{M}Q_m - r_m] \tag{14}$$

був би максимальним за умовою

$$\sum_{m=1}^M k_m n_m \leq K. \tag{15}$$

При цьому доцільно прийняти, що інтенсивності прибуття суден на термінали λ_m є деякими неубуваючими функціями числа причалів n_m . Це може бути виправдано тим, що при зростанні числа причалів на терміналі скорочується довжина черги суден та час їх знаходження в черзі до причалів, що може вважатися додатковим конкурентостворюючим фактором для оператора відповідного терміналу.

У якості вказаної залежності може бути взята, наприклад, така:

$$\lambda_m = c_m n_m^\alpha, \alpha > 0, \quad (16)$$

де параметри c_m, α_m визначаються емпіричним шляхом. Тому, крім умови (15), необхідно також врахувати умови існування сталого режиму усіх терміналів, тобто

$$\lambda_m g_m < U_m, m = 1, 2, \dots, M.$$

З урахуванням залежностей (16) останні умови приймуть огляд:

$$c_m n_m^\alpha g_m < U_m, m = 1, 2, \dots, M. \quad (17)$$

Задача максимізації функції (14) за умовами (15)-(17) відноситься до завдання нелінійного дискретного програмування та може бути вирішена відомими методами [12].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розроблений вище метод оптимізації розподілу інвестицій у розвиток терміналів портів регіонів України дозволяє підвищити ефективність їх роботи в умовах вип. адкового коливання вантажопотоків та з урахуванням очікуемого очікуемой загрузки у часі (ступеня використання) причальних споруд як основних технологічних елементів терміналів.

Використаний підхід, заснований на синтезі теорії черг і теорії запасів, дає можливість прийняти оптимальне рішення щодо розподілу інвестицій з урахуванням невизначеності та витікаючого з неї ризику розорення операторів терміналів.

У подальших дослідженнях за данною проблемою представляє теоретичний і практичний інтерес узагальнення наведеного підходу на випадок можливої конкуренції усіх або деяких операторів терміналів, розташованих у певних регіонах України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 р.: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 липня 2013 р. № 548-р. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/548> – 2013.
2. Закон України «Про морські порти України» [Текст]// Відомості Верховної Ради України. 2013. № 7. Ст. 65.
3. Imakita, J. (1978). *Techno-economic analysis of the port transport system* : Saxon House, England. 216 p.
4. Воевудский Е. Н., Постан М. Я. Стохастические модели в проектировании и управлении деятельностью портов. М. : Транспорт, 1987. 318 с.
5. Постан М. Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок. Одесса : Астропринт, 2006. 376 с.
6. Постан М. Я. Об одном методическом подходе к экономическому обоснованию создания портового терминала // *Логистика: проблемы и решения*. 2009. №6. С. 56–60.
7. Rizzoli, A. E., Fornara, N. & Gambardella, L.M. (2002). A simulation tool for combined/rail/ road transport in intermodal terminals // *Mathematics and Computers in Simulation*. Vol.59, Is. 1–3. P. 57–71. DOI:10.1016/s0378-4754(01)00393-7.
8. Macharis, C. & Bontekoning, Y. M. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review // *Eur J Oper Res*. Vol. 153, Is. 2. P. 1–34. DOI: 10.1016/s0377-2217(03) 00161-9.
9. Steadie Seifi, M., Dellaert, N. P. & Nuijten, W. et al. (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review // *Eur J Oper Res*. Vol. 233. Is. 1. P.1–15.
10. Ursavas, E. & Zhu, S. X. (2016). Optimal policies for the berth allocation problem under stochastic nature // *Eur J Oper Res*. Vol. 255. Is. 2. P. 380–387.
11. Gaobo, L. & Hu, L. Su (2013). The model of location for single allocation multimodal hub under capacity constraints // *Procedia–Social and Behavioral Sciences*. № 96. P. 351–359.

12. Postan, M. A. & Kushnir, L. (2016). Method of determination of port terminal capacity under irregular cargo delivery and pickup // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 4/3(82). P. 30–37. doi:10.15587/1729–4061.2016.76285.

13. Postan, M. Ya. & Kurudzhi, Yu. V. (2012). Modeling the influence of transport units movements irregularity on storage level of cargo at warehouse // *Acta Systemica*. Vol. XII, #1. P. 31–36.

14. Сергиенко И. В., Шило В.П. Задачи дискретной оптимизации: Проблемы. Методы Решения. Исследования. Киев : Наукова думка, 2003. 261 с.

REFERENCES

1. Strategiya rozvytku vorskych portiv Ukrainy na period do 2038 r.: Rozporyadzhnnyy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11 lypnya 2013 r. # 548-r. [Електронний ресурс]. – URL : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/548-2013> [in Ukrainian].

2. Pro morskii porty Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 17.05.2012 4709-VI [On seaports of Ukraine: Law of Ukraine from 17.05.2012, No. 4709-VI]. (2012). *Vidomosti Verkhovnoi Rady*, 7, pp. 407. [in Ukrainian].

3. Imakita J. (1978). Techno-economic analysis of the port transport system .Saxon House, England. 216 p. [in English].

4. Voevodskiy, E.N. & Postan, M.Ya. (1987). Stokhasticheskie modeli v proektirovanii portov i upravlenii ih deyatelnost'yu'. Moskva : Transport [in Russian].

5. Postan, M.Ya. (2006). *Economico-mathematicheskie modeli smeschannyh perevozok*. Odessa : Astroprint [in Russian].

6. Postan, M. Ya. (2009). Ob odnom metodicheskom podhode k ekonomicheskomu obosnovaniyu sozdaniya portovogo terminala // *Logistika : problemy i resheniya*, 6. p. 56-60 [in Russian].

7. Rizzoli, A. E., Fornara, N., Gambardella, L.M. (2002). A simulation tool for combined/rail/ road transport in intermodal terminals. *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol.59, Is. 1-3, p. 57-71. DOI:10.1016/s0378-4754(01)00393-7 [in English].

8. Macharis, C. & Bontekoning, Y. M. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review // *Eur J Oper Res.*, Vol. 153, Is. 2, p.1–34. DOI:10.1016/s0377-2217(03) 00161-9 [in English]

9. Steadie, Seifi M., Dellaert, N. P., Nuijten W., et al (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. *Eur J Oper Res.*, Vol. 233, Is. 1, p.1-15 [in English].

10. Postan, M., Kushnir, L. (2016). A method of determination of port terminal capacity under irregular cargo delivery and pickup // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/3(82). p. 30–37. DOI:10.15587/1729–4061.2016.76285 [in English]

11. Ursavas. E. & Zhu, S.X. (2016). Optimal policies for the berth allocation problem under stochastic nature // *Eur J Oper Res.*, Vol. 255, Is. 2, p. 380–387 [in English].

12. Gaobo L., Hu D., Su L. (2013). The model of location for single allocation multimodal hub under capacity constraints. *Procedia–Social and Behavioral Sciences*, 96, 351–359 [in English].

13. Postan, M. Ya. & Kurudzhi, Yu. V. (2012). Modeling the influence of transport units movements irregularity on storage level of cargo at warehouse // *Acta Systemica*, Vol. XII, #1, p.31–36 [in English].

14. Sergienko, I. V. & Schilo, V. P. (2003). *Zadachi diskretnoi optimizatsii: Problemy, Metody resheniya, Issledovaniya*. Kiev : Naukova dumka [in Russian].