

УДК 656.615.078.111

<https://doi.org/10.33082/td.2018.2-3.07>

**ОПТИМІЗАЦІЯ УЗГОДЖЕНОГО УПРАВЛІННЯ
ПРОЦЕСОМ ПЕРЕВАЛКИ ВАНТАЖІВ
У ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛАХ В УМОВАХ РИЗИКУ**

А.О. Мурад'ян

доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

С.С. Русанова

асистент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

Одеський національний морський університет

Анотація. У статті вперше запропонована постановка задачі оптимізації процесу перевалки вантажів у транспортних вузлах, заснована на логістичній концепції «точно в строк», визначений конструктивний підхід до моделювання задачі й наведені її оригінальні економіко-математичні моделі із вказівкою методів реалізації. Також обґрунтована необхідність при постановці задачі оптимізації ППВ на етапі оперативного управління урахування фактору якості інформації щодо вхідних у ЗТВ вантажопотоках та рухомого складу. Показано, що цей фактор дає уявлення про ступінь стійкості параметрів управління і дозволяє в підсумку розглянути задачу, що характеризується, в умовах ризику і в детермінованій постановці.

Ключові слова: загальнотранспортні вузли, процес перевалки вантажів (ППВ), постановка задачі управління ППВ.

УДК 656.615.078.111

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ПЕРЕВАЛКИ ГРУЗОВ
В ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ В УСЛОВИЯХ РИСКА**

А.О. Мурадян

доцент кафедры «Эксплуатация портов и технология грузовых работ»

С.С. Русанова

асистент кафедры «Эксплуатация портов и технология грузовых работ»

Одесский национальный морской университет

Аннотация. В статье впервые предложена постановка задачи оптимизации процесса перевалки грузов (ППГ) в транспортных узлах, основанная на логистической концепции «точно в срок», определен конструктивный подход к моделированию задачи и приведены ее оригинальные экономико-математические модели с указанием методов реализации. Также обоснована необходимость при постановке задачи оптимизации ППГ на этапе оперативного управления учета фактора качества информации о входящих в транспортные узлы грузопотоки и подвижной состав.

© Мурад'ян А.О., Русанова С.С., 2018

Показано, что этот фактор дает представление о степени стойкости параметров управления и позволяет в итоге рассматривать характеризующую задачу, в условиях риска и в детерминированной постановке.

Ключевые слова: транспортный узел, процесс перевалки грузов (ППВ), постановка задачи управления ППВ.

UDC 656.615.078.111

**OPTIMIZATION OF CARGO TRANSFER PROCESS
IN TRANSPORT HUBS AT RISK**

A.O. Muradian

PhD of the Department «Operation of ports and Cargo Works Technology»

S.S. Rusanova

Assistant of the Department «Operation of ports and Cargo Works Technology»

Odessa National Maritime University

***Abstract.** In article the problem definition of optimization of cargo transfer process in transport hub, based on logistic conception «just in time» is offered for the first time, the constructive approach to modeling of a task is defined and are provided its original economic-mathematical models with the indication of methods of realization.*

The necessity is also proved for setting the task of cargo transfer process optimization at the stage of operational management of information quality factor of t regarding cargo flows and rolling stock entering the transport nodes. It is shown that this factor gives an idea of the degree of stability of the control parameters and allows us to consider the problem under the conditions of risk and in a determinate formulation.

***Keywords:** transport hubs, the cargo transfer process (CTP), a problem definition of management of CTP.*

Вступ. Сучасний етап розвитку науки управління транспортом характеризується націленістю на збагачення теорії й методів управління комплексами сполучених транспортних систем методологічним інструментарієм ринкової економіки. У додатку до транспортних вузлів (ТВ) дана констатація означає, що концепцію формування механізму управління ТВ, включаючи управління процесом перевалки вантажів (ППВ), що передбачає використання обчислювального арсеналу класичної теорії управління, потрібно радикально перетворити. При цьому на початковому етапі такого роду перетворення найбільш актуальним є пророблення питань, пов'язаних з моделюванням задачі оптимізації ППВ в ринковій постановці як ключового елемента процесу функціонування ТВ, чому присвячується ця стаття.

Аналіз основних досягнень і літератури. Протягом останніх років був виконаний ряд досліджень, присвячених критичному аналізу сучасного стану згаданих вище питань [1-4 та ін.]. При цьому було вста-

новлено й в [5-6] показано, що в цей період намітилася стійка тенденція в прагненні дослідників використати при розробці проблем організації управління ТВ поряд із традиційними підходами класичної теорії управління також можливості теорій, що залишалися в тіні, взаємодіючих систем, морфологічного й когнітивного моделювання, побудови фреймових моделей, системного програмування й мультиагентної оптимізації. Однак ці ініціативи поки не привели до створення методів управління ТВ, що враховують умови роботи транспорту в ринковому середовищі й обладують науковою новизною. Таке твердження повною мірою поширюється й на задачу оптимізації ППВ, дослідження якої усе ще залишається в зародковому стані.

Наведені відомості підтверджують актуальність теми даної публікації й необхідність її подальшого поглибленого пророблення.

Мета дослідження, постановка задачі. Загальна мета роботи зв'язується з обґрунтуванням підходу до оптимізації й моделювання ППВ у постановці, адекватної механізму забезпечення погодженого управління ТВ у сучасних ринкових умовах. Відповідно до поставленої вище мети дійсного дослідження обговоримо спочатку найважливіші передумови розгляду задачі управління ППВ в оптимальній постановці, а потім перейдемо до її моделювання з обліком практично реального інформаційного забезпечення процесу проходження вантажів і транспортних засобів через ТВ.

Матеріали досліджень. Приступаючи до постановки розглянутої задачі, будемо виходити із принципу, який затверджує, що ефективність управління ППВ прямо залежить від ступеня досконалості економіко-математичної моделі цього процесу як умови й засоба його оптимізації. При цьому будемо враховувати, що ключову роль у побудові моделі грає вибір критерію оптимальності, що гарантує досягнення необхідного рівня результативності ППВ. Очевидно, що в нашому випадку критерій оптимізації ППВ необхідно конструювати з позицій, що відповідають, з одного боку, природі ринкових відносин в економіці й, з іншого боку, практиці регулювання взаємин між суб'єктами ТВ й їхніми контрагентами в особі власників вантажів і транспортних засобів.

Як перший, так і другий фактори націлюють на універсальний ринковий критерій, тобто на максимізацію прибутку від реалізації ППВ із використанням виробничих ресурсів всіх діючих у ТВ суб'єктів. Однак, у силу того, що на етапі оперативного управління всі дохідні ставки (тарифи, плати, збори) по всіх операціях ППВ є константами (відповідно до норм угод між суб'єктами ТВ), як критерій оптимізації ППВ варто прийняти мінімум витрат на здійснення ППВ, включаючи витрати на обслуговування вантажопотоків і транспортних засобів, а також на зміст виробничих ресурсів. Така орієнтація представляється цілком коректною в силу того, що обидві складових зазначених витрат піддаються варіації (по вантажопотокам, що перевалюються, технологічним схемам освоєння кожного вантажопотоку, режимам використання виробничих ресурсів порту

й станції та ін.) при обов'язковому забезпеченні пропускної здатності вантажних фронтів без зміни їхньої технічної оснащення.

Підкреслимо, що остання умова грає надзвичайно важливу роль у постановці й моделюванні обговорюваної задачі, тому що «працює» на підвищення ймовірності забезпечення проходження вантажів і транспортних засобів через ТВ у строки, передбачені угодами між суб'єктами ТВ і закріплені в нормах «Єдиного технологічного процесу роботи транспортного вузла», що повністю відповідає концепції «точно в строк». А це означає, що запропонований критерій оптимізації ППВ може розглядатися як загальна мета функціонування ТВ, що відповідає інтересам кожного суб'єкта транспортного вузла. Одночасно ця умова є вигідною і для транспортної клієнтури в силу того, що мінімізує ймовірність зриву її контрактних зобов'язань перед контрагентами, завдяки чому підвищується в її сприйнятті привабливість й, виходить, конкурентоздатність ТВ.

Відзначимо, що охарактеризований критерій оптимізації ППВ повністю погодиться із запропонованим нами в [5-6] критерієм й є його природним узагальненням.

Настільки ж важливу роль у постановці й моделюванні обговорюваного завдання грає фактор якості інформації щодо транспортних засобів, що направляються у ТВ. Як показано в [7], на сучасному етапі цей фактор необхідно розглядати з позицій створення автоматизованої системи інформаційного забезпечення взаємодії суб'єктів ТВ із виділенням спеціальних полігонів взаємодії – далеких, середніх й ближніх з передачею з них у ТВ відповідно до формату інформації про переміщення вантажів і транспортних засобів. При цьому границями далеких полігонів є моменти початку перевезення вантажів «першим» видом магістрального транспорту після доставки їхнім промисловим транспортом відправників вантажів – виробників продукції для перевалки на магістральний транспорт в «першому» транспортному вузлі і завершення перевезення вантажів «передостаннім» видом магістрального транспорту; середні полігони обмежуються моментами початку перевалки вантажів в «передостанньому» транспортному вузлі і моментом закінчення перевезення вантажів «останнім» видом магістрального транспорту; границі ближніх полігонів збігаються з моментами початку-закінчення перевалки вантажів в «останньому» транспортному вузлі «останнього» виду магістрального транспорту на промисловий транспорт одержувачів вантажів – споживачів продукції.

Відзначимо, що при такому підході забезпечується послідовне підвищення якості інформації щодо вантажопотоків та транспортних засобів, що направляються у ТВ. Дійсно, зазначена інформація в далеких полігонах взаємодії звичайно відрізняється гранично низькою якістю, у середніх полігонах – її якість, як правило, підвищується, а в ближніх полігонах – ця інформація має найбільш високу якість. Ці обставини обумовлює можливість моделювання ППВ як задачі оптимізації вантажопе-

ревалювального процесу, розглянутого в умовах ризику (для середніх полігонів) і в детермінованій постановці (для ближніх полігонів).

Результати досліджень ППВ. Розглянемо спочатку детермінований варіант задачі оптимізації ППВ у статичній постановці. Припустимо, що протягом деякого інтервалу часу, (наприклад, обліково-звітного періоду, прийнятого спільно портом і станцією), розбитого на рівні відрізки (тривалістю наприклад, по одній годині), необхідно реалізувати ППВ шляхом переміщення в межах ТВ певних обсягів вантажопотоків (наприклад, що відповідають завантаженню залізничних вагонів, або магістральних автомобілів, або судовим партіям) по задалегідь прийнятим організаційно-технологічним варіантам (ОТВ).

Під «виробничими зонами» будемо мати на увазі комплекси стаціонарних і мобільних технічних засобів, призначених для обслуговування вантажів і транспортних засобів.

При цьому в якості виробничих будемо розглядати зони, обладнані на припортовій залізничній станції (шляхи – головний, приймально-відправний, відстійні й сполучні з портом), у порту (виставочні залізничні колії, вантажні фронти – кордонного, тилові, складські) і поблизу порту (транзитно – вантажні термінали для обслуговування магістральних автомобілів).

Умовимося, що ППВ характеризується двома показниками – питомими витратами на обслуговування вантажопотоків і транспортних засобів і питомих витрат на склад зон.

Відзначимо, що перший із зазначених показників є в загальному випадку змінною величиною в силу того, що його складова по транспортних засобах, залишаючись постійною величиною (тарифом) протягом нормативного часу, починає прогресивно зростати по його витіканні.

Перейдемо до формалізації обговорюваної задачі і введемо необхідні позначення при суцільній нумерації варійованих величин.

Відомі величини (задані константи):

i – індекс виробничих зон обслуговування вантажопотоків ($i = \overline{1, m}$);

j – індекс обслуговуваних вантажопотоків ($j = \overline{1, n}$);

k – індекс відрізків часу розглянутого інтервалу управління ($k = \overline{1, r}$);

T_{ik} – резерв робочого часу i -ї зони на протязі k -го відрізка часу;

a_{ijk} – питома ресурсомісткість (трудомісткість) обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

x_{ijk} та \bar{x}_{ijk} – відповідно мінімальний і максимальний об'єми j -го вантажопотоку, які необхідно обслужити в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

\underline{t}_{ijk} та \bar{t}_{ijk} – відповідно мінімально і максимально допустимий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу;

f_{ijk} – питомий дохід обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

c_{ik} – питомі витрати на утримання i -ї зони на протязі k -го відрізка часу.

Невідомі величини (керовані змінні):

x_{ijk} – плановий обсяг обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

t_{ijk} – плановий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу.

Залежності між відомими і невідомими величинами характеризуються наступним чином:

• обсяги освоєння вантажопотоків та показники використання виробничих зон повинні відповідати заздалегідь заданим межах їх зміни, тобто

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \bar{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \bar{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}. \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

• використання робочого часу виробничих зон має визначатися ресурсомісткістю (трудомісткістю) освоєння вантажопотоків, тобто

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (2)$$

• робочий час виробничих зон може використовуватися в межах його резерву для кожного відрізка часу, тобто

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; k = \overline{1, r}; \quad (3)$$

• загальний результат реалізації ППВ визначається шляхом підсумовування доходів за всіма вантажопотоками за вирахуванням витрат на утримання виробничих зон протягом розглянутого інтервалу управління, тобто

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ik} t_{ijk}. \quad (4)$$

Зазначимо, що співвідношення (1)-(4) є основою для побудови економіко-математичних моделей задачі оптимізації ППВ для всіх згаданих вище випадків її постановки.

Представляється очевидним, що в детермінованому випадку модель оптимізації ППВ може бути представлена сукупністю наведених вище співвідношень з деяким перетворенням умови (2), тобто у вигляді наступної системи:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ijk} t_{ijk} \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, r}; \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \overline{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \overline{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, r}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Звернемося тепер до нагоди відшукати варіанти оптимізації ППВ в умовах ризику, тобто показники питомих витрат на освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон тракуються як випадкові величини з відомими статистичними характеристиками. При цьому будемо враховувати, що на сучасному етапі приділяється підвищена увага так званому операційному ризику, під яким розуміється ризик діяльності підприємства, обумовлений невизначеністю його стану та функціонуванням під впливом як зовнішніх, так і внутрішніх факторів [9]. У додатку до ЗТВ, операційний ризик природним чином пов'язується з невисокою якістю інформації про терміни прибуття ТРЗ і вантажів із зазначенням найменувань і кількості останніх, а також про реалізацію ППВ, що в сукупності веде до неможливості однозначного завдання показників з освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон ЗТВ. Будемо вважати, що ці показники є випадковими величинами з відомими їх очікуваними значеннями та стандартними відхиленнями. За такої умови з'являється можливість прийняття керуючих рішень з управління ППВ в умовах ризику і невизначеності.

Виходячи з цього висновку, побудуємо економіко-математичну модель оптимізації ППВ в умовах ризику. З метою спрощення записів, але без порушення спільності сформованих тверджень, перейдемо до усереднених значень, які характеризують ППВ величин, – планових обсягів вантажопотоків і питомих доходів на їх освоєння (за зонами та інтервалом управління в цілому), часу використання та витрат на утримання виробничих зон (за вантажопотоками і інтервалом управління) і введемо для них відповідні позначення.

Відомі величини (задані константи):

i – індекс виробничих зон для обслуговування вантажопотоків ($i = \overline{1, m}$);

j – індекс обслуговуваних вантажопотоків ($j = \overline{1, n}$);

k – індекс відрізків часу розглянутого інтервалу управління ($k = \overline{1, r}$);

T_{ik} – резерв робочого часу i -ї зони на протязі k -го відрізка часу;

a_{ijk} – питома ресурсомісткість (трудомісткість) обслуговування j -го вантажопотоку в i -ї зоні на протязі k -го відрізка часу;

x_{ijk} та \bar{x}_{ijk} – відповідно мінімальний і максимальний об'єми j -го вантажопотоку, які необхідно обслужити в i -ї зоні на протязі k -го відрізка часу;

t_{ijk} та \bar{t}_{ijk} – відповідно мінімально і максимально допустимий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу;

f_{ijk} – питома дохід обслуговування j -го вантажопотоку в i -ї зоні на протязі k -го відрізка часу;

c_{ik} – питома витрати на утримання i -ї зони на протязі k -го відрізка часу.

Невідомі величини (керовані змінні):

x_{ijk} – плановий обсяг обслуговування j -го вантажопотоку в i -ї зоні на протязі k -го відрізка часу;

t_{ijk} – плановий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу.

Залежності між відомими і невідомими величинами характеризуються наступним чином:

• обсяги освоєння вантажопотоків та показники використання виробничих зон повинні відповідати заздалегідь заданим межах їх зміни, тобто

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \bar{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \bar{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \end{aligned} \right\}; \quad (9)$$

• використання робочого часу виробничих зон має визначатися ресурсомісткістю (трудомісткістю) освоєння вантажопотоків, тобто

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk}; \quad i = \overline{1, m}; \quad (10)$$

• робочий час виробничих зон може використовуватися в межах його резерву для кожного відрізка часу, тобто

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; k = \overline{1, r}; \quad (11)$$

• загальний результат реалізації ППВ визначаються шляхом підсумовування доходів по всіх вантажопотоках за вирахуванням витрат на утримання виробничих зон протягом розглянутого інтервалу управління, тобто

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n c_{ik} t_{ijk}. \quad (12)$$

Зазначимо, що співвідношення (9)-(12) є основою для побудови економіко-математичних моделей задачі оптимізації ППВ для всіх згаданих вище випадків її постановки.

Представляється очевидним, що в детермінованому випадку модель оптимізації ППВ може бути представлена сукупністю наведених вище співвідношень з деяким перетворенням умови (10), тобто у вигляді системи

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ijk} t_{ijk} \rightarrow \max; \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, r}; \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \overline{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \overline{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, r}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Звернемося тепер до нагоди відшукати варіанти оптимізації ППВ в умовах ризику, тобто показники питомих витрат на освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон трактуються як випадкові величини з відомими статистичними характеристиками. При цьому будемо враховувати, що на сучасному етапі приділяється підвищена увага так званому операційному ризику, під яким розуміється ризик діяльності підприємства, обумовлений невизначеністю його стану та функціонуванням під впливом як зовнішніх, так і внутрішніх факторів [11]. У додатку до ЗТВ, операційний ризик природним чином пов'язується з невисокою якістю інформації про терміни прибуття ТРЗ і вантажів із зазначенням найменувань і кількості останніх, а також про реалізацію ППВ, що в сукупності веде до неможливості однозначного завдання показників з освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон ЗТВ. Будемо вважати, що ці показники є випадковими величинами з відомими їх очікуваними значеннями та стандартними відхиленнями. За такої умови з'являється можливість прийняття керуючих рішень з управління ППВ в умовах ризику і невизначеності.

Виходячи з цього висновку, побудуємо економіко-математичну модель оптимізації ППВ в умовах ризику. З метою спрощення записів, але без порушення спільності сформованих тверджень, перейдемо до усереднених значень, характеризуючи ППВ величин, – планових обсягів вантажопотоків і питомих доходів на їх освоєння (по зонам та інтервалу управління в цілому), часу використання та витрат на утримання виробничих зон (по вантажопотокам і інтервалу управління) і введемо для них відповідні позначення.

Відомі величини (задані константи):

T_i – резерв робочого часу i -ї зони;

a_{ij} – ресурсомісткість обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні;

x_j та \bar{x}_j – відповідно мінімальний і максимальний об'єми j -го планового вантажопотоку;

t_{ij} та \bar{t}_{ij} – відповідно мінімальний і максимальний допустимий час використання i -ї зони для освоєння j -го вантажопотоку;

\bar{f}_{ij} – середня величина питомих доходів на обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні;

\bar{c}_i – середня величина питомих витрат на утримання i -ї зони.

Невідомі величини (керовані змінні):

x_j – плановий об'єм обслуговування j -го вантажопотоку;

t_{ij} – плановий час використання i -ї зони для освоєння j -го вантажопотоку.

Зазначимо, що при трактуванні показників \bar{f}_{ij} та \bar{c}_i як випадкових величин прибуток з реалізації ППВ являє собою випадкову величину, статистичні характеристики якої визначаються статистичними характеристиками цих показників, а саме:

очікуваним значенням –

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{f}_{ij} x_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_i t_{ij}; \quad (17)$$

дисперсією –

$$\sigma^2(F) = \sum_{j=1}^n \sigma_j^2 x_j^2 - \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 t_i^2, \quad (18)$$

де σ_j та σ_i – середньоквадратичне відхилення, відповідно, доходів з освоєння вантажопотоків і витрат на утримання виробничих зон.

Зазначимо також, що у теорії ризику звертається увага на залежність прийнятих управлінських рішень від характеру відношення системи управління (особи, що приймає рішення) до ризику, який може бути нейтральним, або прямо протилежним. При цьому, як показано в [12], характер ставлення до ризику у формальному плані визначається функцією очікуваної ефективності прийнятих рішень, яка (функція) може бути: лінійною, що зв'язується з нейтральним ставленням до ризику; опуклою, що припускає схильність до ризику; увігнутою, що відповідає відсутності схильності до ризику. Ця обставина означає, що у випадку нейтрального ставлення до ризику оптимізаційні задачі можна вирішувати в детермінованій постановці з використанням однокритеріальних моделей.

Спираючись на охарактеризовані положення теорії ризику, побудуємо відповідні економіко-математичні моделі задачі оптимізації ППВ, використовуючи наведені вище усереднені значення показника витрат за вантажопотоками і виробничими зонами. Очевидно, що при нейтральному відношенні до ризику шукана модель буде в структурному плані відповідати запису (13)-(16), тобто мати вигляд

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{f}_{ij} X_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_i t_{ij} \rightarrow \max; \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j - T_i = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} \leq T_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (21)$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{X}_j \leq X_j \leq \bar{X}_j, \quad j = \overline{1, n}; \\ \underline{t}_{ij} \leq t_{ij} \leq \bar{t}_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \end{array} \right\} \quad (22)$$

У разі, коли ставлення до ризику відрізняється від нейтрального, необхідно переходити, як зазначалося вище, до бікритеріальної задачі, модель якої записується наступним чином:

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{f}_{ij} X_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_i t_{ij} \rightarrow \max; \quad (23)$$

$$\sigma^2(F) = \sum_{j=1}^n \sigma_j^2 X_j^2 - \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 t_i^2 \rightarrow \min(\max); \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j - T_i = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} \leq T_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (26)$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{X}_j \leq X_j \leq \bar{X}_j, \quad j = \overline{1, n}; \\ \underline{t}_{ij} \leq t_{ij} \leq \bar{t}_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \end{array} \right\} \quad (27)$$

Підкреслимо, що рішення моделі (23)-(27) необхідно відшукувати на множині розв'язків задачі оптимізації ППВ, оптимальних за Парето.

Зазначимо, що оптимізаційна спрямованість показника $\sigma^2(F)$ визначається характером відношення керуючої системи до ризику: якщо система схильна до ризику, то $\sigma^2(F)$ необхідно мінімізувати; в іншому випадку – цей показник підлягає максимізації.

Зазвичай в теорії ризику використовують такий показник, як коефіцієнт варіації, який кількісно оцінює ступінь коливання досліджуваних

показників біля їх середніх значень. У нашому випадку коефіцієнт варіації (V) визначається наступним чином:

$$V = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n \delta_j^2 x_j^2 - \sum_{i=1}^m \delta_j^2 t_i^2}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} x_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_i t_{ij}}. \quad (28)$$

Як зазначається в [11], коефіцієнт варіації не повинен бути занадто великим: у теорії ризику зазвичай приймаються його значення $V < 0,25$.

За такої умови модель оптимізації ППВ записується як схема (19)-(22) з додаванням обмеження

$$V \leq 0,25, \quad (29)$$

де V визначено в (28).

Висновки. Узагальнення вищевикладеного дозволяє зробити висновок, що запропоновані в даній статті економіко-математичні моделі в єдності з методами їх реалізації можуть бути покладені в основу методики оптимізації ППВ при оперативному управлінні транспортними вузлами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куренков П.В. *Управление доставкой в внешнеэкономических грузах в смешанном сообщении [Текст]: Дис. ... д-ра экон. наук / П.В. Куренков. – М.: ГУУ, 1999. – 478 с.*
2. Клепиков В.П. *Методология комплексного развития транспортных систем в проектах взаимодействия железнодорожного и морского транспорта [Текст]: Дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Клепиков. – М.: МГУПС (МИИТ), 2007. – 352 с.*
3. Сычев А.А. *Организация работы транспортного узла в составе транспортного коридора [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук / А.А. Сычев. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2009. – 167 с.*
4. Ботнарюк М.В. *Методология формирования транспортного узла как института сетевых партнерских отношений [Текст] / М.В. Ботнарюк // Современная конкуренция. – 2012. – № 3 (38). – С. 98-110.*
5. Muradian A.O. *Ensuring a coordinated cargo transshipment process management in general transport hubs // Technology audit and production reserves. – № 3/1 (17). – 2014. – P.48-53.*
6. Мурад'ян А.О. *Методичні основи узгодженого управління процесом перевалки вантажів у загальнотранспортних вузлах [Текст]: Дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / Мурад'ян Арсен Олегович. – Одеса, 2016. – 166 с.*

-
7. Новиков П.А. Организация эффективного взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в припортовых транспортных узлах [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук / П.А. Новиков. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 154 с.
 8. Тейман А.И. Управление комплексами операций [Текст] / А.И. Тейман // Доклад. – М.: Политехнический музей, 1967. – 44 с.
 9. Енгальчев О.В. Совершенствование системы управления операционным риском на предприятии [Текст]: Дис. ... канд. экон. наук / О.В. Енгальчев. – МГТУ, 2005. – 174 с.
 10. Кигель А.В. Свойства и поиск оптимальных финансовых портфелей для ЛПР с разными отношениями к риску [Текст] / А.В. Кигель // Финансовые риски. – 1999. – № 2. – С. 86-91.
 11. Подиновский В.В. Парето – оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
 12. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения [Текст] / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

Стаття надійшла до редакції 30.010.2018 р.