

*Ю.П. КОНДРАТЕНКО*, д-р техн. наук (м. Миколаїв),  
*С.А. СИДОРЕНКО*, канд. техн. наук (м. Миколаїв),  
*Д.М. ПІДОПРИГОРА*, канд. техн. наук "ПрогАвто" (м. Київ),  
*Є.С. МАРТИНЕНКО*, (м. Миколаїв)

## **НЕЧІТКІ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОРСЬКИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Розглядаються питання формалізації нечіткими множинами та засобами нечіткої арифметики невизначеностей, що виникають в процесі прогнозування термінів прибуття вантажів в порти призначення при здійсненні морських контейнерних перевезень. Сформовані нечіткі моделі базуються на експертних оцінках та статистичних даних щодо руху контейнерів на напрямку "Південно-Східна Азія – Україна". Результати імітаційного моделювання підтверджують адекватність запропонованих нечітких моделей та ефективність запропонованого підходу щодо розв'язання задач прогнозування.

**Ключові слова:** нечітка модель, алгоритм прогнозування, параметри морських контейнерних перевезень, експертні оцінки, статистичні дані, імітаційне моделювання.

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** До класу актуальних задач, що стоять перед розробниками сучасних інформаційних систем, відноситься математична формалізація невизначеностей при моделюванні транспортних процесів різного характеру. Однією з таких задач, що містить невизначеності, є прогнозування часу перевезення контейнерів на морському транспорті [1].

Процес руху контейнерів можна представити у вигляді послідовності, що складається з наступних етапів: 1) вихід з порту завантаження; 2) перехід між портами; 3) перевантаження в проміжному порту; 4) прибуття в порт призначення. При цьому пункти 2 та 3 можуть повторюватися кілька разів в залежності від реалізації конкретного маршруту.

Часові витрати на кожному з етапів не можуть прогнозуватись з достатньою точністю, оскільки на них впливають різноманітні (змінні у часі) фактори (сезон, завантаженість портів тощо), математична формалізація яких в рамках традиційних підходів є важкою або неможливою через необхідність врахування невизначеностей та експертної інформації. В той же час при управлінні відповідним логістичним підприємством задача планування ресурсів (наприклад, кількості автотранспорту, робочого часу митних брокерів тощо) не може бути ефективно розв'язана без достатньо адекватного прогнозування кількості контейнерів, що прибувають в порт призначення в певну добу. В таких випадках для врахування невизначеностей доцільним є використання теорії нечіткої логіки та нечітких множин [2 – 4].

**Ціль статті** – створення інформаційної системи прогнозування часу руху контейнерів з порту виходу до порту призначення на основі нечіткої моделі процесу транспортування контейнерів, розробленої з урахуванням

статистичної та експертної інформації з використанням методів теорії нечіткої логіки та нечітких множин. Апробація запропонованої нечіткої моделі та навчання бази функцій належності здійснені на прикладі актуальної для Української транспортної системи задачі перевезення контейнерів з Південно-Східної Азії та Китаю до портів Одеса та Іллічівськ.

**Автоматизація управління підприємством на рівні інформаційних потоків.** Розв'язання вказаної задачі у випадку транспортного логістичного підприємства включає ряд підзадач теоретичного та практичного характеру. До задач теоретичного характеру, в першу чергу, відноситься задача прогнозування часу прибуття контейнерів в порт призначення. Такий прогноз, виконаний з дотриманням вимог щодо точності, дозволить забезпечити ефективність планування ресурсів підприємства (зокрема автотранспорту).

Основою для побудови нечіткої моделі прогнозування часу прибуття контейнерів в порт призначення є статистична вибірка даних щодо близько 6 000 контейнерів, які надійшли до портів України впродовж 2007 р., а також експертна інформація щодо впливу сезонного фактору на рух суден та швидкість обробки контейнерів в портах перевантаження за даними одного з логістичних підприємств м. Одеси.

Час руху контейнера від порту завантаження до порту призначення в загальному вигляді може бути визначений наступним чином:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} P_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} L_{i,i+1}$$

де  $T$  – загальний час проходження маршруту, включаючи час, що витрачається на обробку контейнера в порту призначення;  $n$  – кількість портів на маршруті руху (включаючи порт відправлення та порт призначення);  $P_{i+1}$  – час, що витрачається на етапі перевантаження в проміжному порту для  $i$ -го порту в маршруті. У випадку  $P_n$  розглядається час, що витрачається на розвантаження в порту призначення, митний, санітарний та екологічний контроль тощо. Завершенням етапу обробки в порту призначення вважається час, коли контейнер при вивезенні перетинає ворота порту;  $L_{i,i+1}$  – час, що витрачається на переходи між  $i$ -м та  $j$ -м портами маршруту.

Величини  $P_{i+1}$ ,  $L_{i,i+1}$  та  $T$ , згідно до загальноприйнятої в галузі морських перевезень практики, слід дискретизувати з рівнем дискретизації одна доба.

Величини  $P_{i+1}$  та  $L_{i,i+1}$  для конкретних портів та маршрутів не являються постійними. Вони залежать від цілого ряду факторів, що не можуть бути математично формалізовані (наприклад, сезонний фактор, фактор завантаженості судноплавних каналів тощо). При вирішенні задачі побудови моделі процесу перевезення контейнерів можна використати значний наявний масив статистичних даних, а також експертні дані, отримані від спеціалістів

галузі.

Для розробки нечіткої моделі пропонується формалізувати час, що витрачається на кожному з етапів руху контейнерів, за допомогою нечітких множин, визначених на універсумі часу руху  $T$  (в добах). Таким чином враховується невизначеність витрат часу на здійснення кожного з можливих етапів руху контейнерів. Маршрут руху представляється у вигляді послідовності етапів двох видів "Перехід між портами" і "Перевантаження". При введенні нечіткості параметрів попередній вираз набуває вигляду:

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{P}_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{L}_{i,i+1}, \quad (1)$$

де  $\tilde{T}$  – нечітка множина, що характеризує загальний час проходження маршруту;  $\tilde{P}_{i+1}$  – нечітка множина, що характеризує час на етапі "Перевантаження" для  $i$ -го порту в маршруті;  $\tilde{L}_{i,i+1}$  – нечітка множина, що характеризує час на етапі "Перехід між портами".

Розглянемо можливі шляхи формування функцій належності нечітких множин  $\tilde{P}$  та  $\tilde{L}$ . В якості бази для формування нечітких множин використано реальні дані, отримані при доставці контейнерів під управлінням однієї з українських логістичних компаній на напрямках "Південно-східна Азія – Україна" та "Китай – Україна".

При синтезі функцій належності використовуються дані про 5864 реальних переходів контейнерів та 649 рейсів суден-контейнеровозів. Такий масив статистичної інформації не є достатнім для побудови математичної моделі лише з використанням традиційних імовірнісних підходів, тому в даній статті розглядається методика, що полягає в формуванні відповідних нечітких множин на базі статистичної інформації з їх наступною корекцією спеціалістами-експертами. Зв'язок між щільністю розподілу імовірності  $X_p \sim \rho_X(x)$  випадкової величини  $X_p$  та функцією належності  $\mu_X(x)$  відповідної їй нечіткої множини визначається виразом [5]:

$$\mu_X(x) = \frac{\rho_X(x)}{\max_x(\rho_X(x))}. \quad (2)$$

Згідно виразу (2) для формування функцій належності нечітких множин  $\tilde{P}_i$  та  $\tilde{L}_{i,i+1}$  необхідно визначити щільність імовірності відповідних випадкових величин. Для вирішення цієї задачі побудовано гістограми витрат часу на переходи та перевантаження в портах на основі статистичної вибірки. В якості прикладу на рис. 1 наведено гістограми для порту Port Kelang.

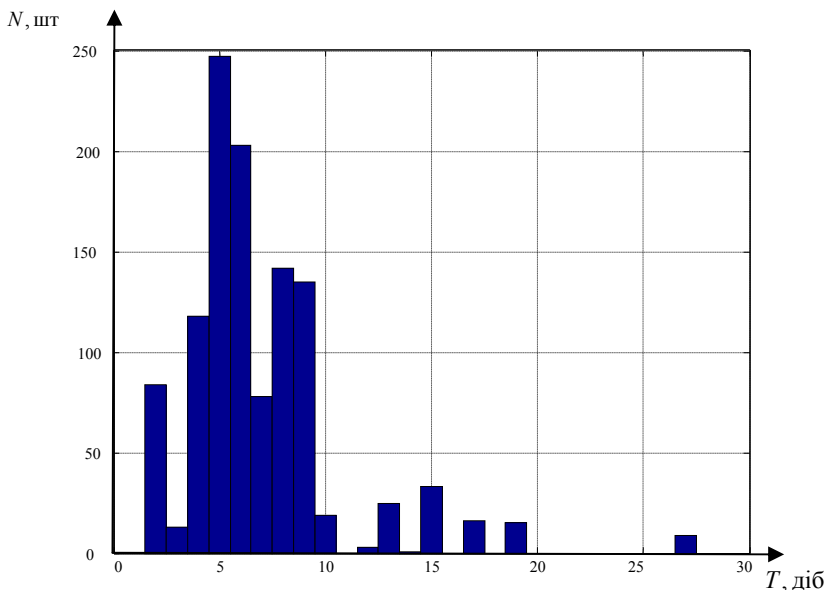


Рис. 1. Гістограма для порту Port Kelang

Отримані гістограми пред'являлись спеціалістам-експертам, завдання яких полягало в формуванні трикутних функцій належності на базі гістограм. Експерти формулювали свої висновки у вигляді висловлювань виду "Найбільш можливий (ймовірний) час переходу між портами  $A$  та  $B$  складає  $x$  діб, при цьому не може бути меншим за  $y$  діб і більшим за  $z$  діб".

Для врахування сезонного фактору до нечіткої моделі (1) введено сезонний коефіцієнт  $\tilde{k}_{i+1}$ , що також має нечіткий характер. В результаті корекції нечітка модель (1) набуває вигляду

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{P}_{i+1} \cdot \tilde{k}_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{L}_{i,i+1} \cdot \quad (3)$$

Згідно гістограм отримані функції належності кожного етапу для двох сезонів "зима – весна" і "літо – осінь". Після формування на основі експертних даних базових функцій належності діленням нечітких чисел  $\tilde{P}_{\text{сез}}$  (дані статистичної вибірки) на  $\tilde{P}_{\text{баз}}$  (формується на основі експертних даних) отримано сезонні коефіцієнти для кожного з етапів:

$$\tilde{k}_{\text{сез}} = \tilde{P}_{\text{сез}} / \tilde{P}_{\text{баз}} \cdot \quad (4)$$

При визначенні нечітких множин  $\tilde{L}_{i,i+1}$ , що характеризують час переходу

між близько розташованими портами, відхилення від нормативного часу руху не перевищує одну добу. В таких випадках нечітка множина має характеризуватися імпульсною функцією належності (ФН). Іншими словами, час переходу між портами в даному випадку є детермінованим і не містить невизначеностей. Для решти нечітких множин прийнято спосіб апроксимації за допомогою ФН трикутної форми.

Перехід до ФН обраної форми від функцій належності, сформованих на основі гістограм розподілу з використанням виразу (2), полягає в пошуку найближчої за відстанню трикутної ФН. Приклад сформованої функції належності та вихідної гістограми для процесу перевантаження в Port Kelang представлено на рис. 2.

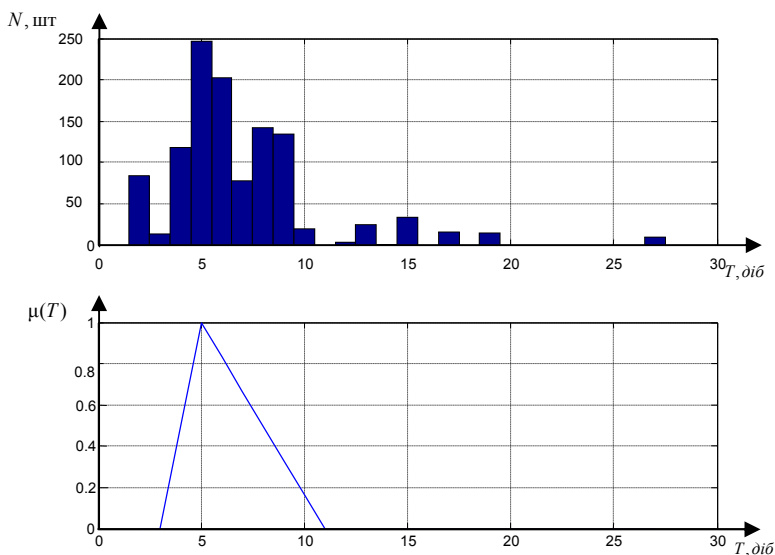


Рис. 2. Гістограма і найближча трикутна функція належності для порту Port Kelang

Кінцевим результатом розробленої системи прогнозування часу прибуття контейнерів є:

- час прибуття контейнера, розрахований на основі відомої дати виходу з порту завантаження і представлений у вигляді інтервалу дат;
- короткостроковий план прибуття контейнерів, що формується на найближчі 30 днів і містить дані про очікувану кількість контейнерів, що прибувають кожної доби.

Нижче сформульовано алгоритм обчислення дати прибуття контейнера на основі нечіткої моделі (3):

*Крок 1.* Задається дата виходу контейнера з порту відвантаження, назва

порту відвантаження, порт призначення та всі проміжні пункти маршруту (зазвичай вони є відомими).

*Крок 2.* З бази даних вибираються значення нечітких множин  $\tilde{P}$ ,  $\tilde{L}$  та  $\tilde{k}$  для обраних портів та переходів.

*Крок 3.* За виразом (3) розраховується нечітка множина, що характеризує час переходу контейнера з порту завантаження до порту призначення.

*Крок 4.* Для заданого  $\alpha$ -рівня  $\alpha_D$ , що характеризує "рівень довіри", визначаються границі діапазону часу найбільш очікуваного прибуття контейнеру  $[T_1, T_2]$ .

В процесі відстежування руху контейнерів дата початку і завершення етапів його руху стають відомими. Для таких контейнерів трикутні функції належності, що характеризують очікуваний час завершення етапів замінюються імпульсними ФН, що характеризують фактичну інформацію.

Розглянемо більш детально алгоритм формування короткострокового плану:

*Крок 1.* Для всіх контейнерів, що знаходяться на стадії руху до порту призначення, розраховуються інтервали  $[T_1, T_2]$ .

*Крок 2.* Для кожної  $j$ -ої доби формується вибірка  $Q$  з контейнерів, для яких доба, що розглядається, потрапляє в інтервал  $[T_1, T_2]$ . Кількість контейнерів в вибірці позначимо  $m$ .

*Крок 3.* Для кожної  $j$ -ої доби прогнозована кількість контейнерів, що прибувають, обчислюється за формулою:

$$N_j = \sum_{i=1}^m \frac{1}{d_i},$$

де  $d_i$  – ширина інтервалу  $[T_1, T_2]$   $i$ -го контейнера вибірки  $Q$ .

*Крок 4.* Після повторення кроків 1, 2 для всіх діб прогнозу результати представляються в графічному вигляді – залежність  $N(j)$  кількості контейнерів  $N$  від конкретної доби  $j$ .

Апробацію розробленого алгоритму здійснено на базі імітаційного моделювання процесу прогнозування руху додаткової вибірки з 491 контейнерів, які не використовувалися при формуванні функцій належності для вищезгаданих етапів руху (рис. 3, 4).

Оскільки обсяг початкової вибірки недостатній для формування ФН всіх портів і маршрутів, то моделювання проводилося для маршруту Busan – Shanghai – Constanza – Plychevsk (вибірка для даного маршруту має найбільший обсяг). Рівняння (3) для вказаного маршруту має вигляд:

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{P}_{i+1} \cdot \tilde{k}_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{L}_{i,i+1} \cdot \tilde{k}_{i,i+1} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{P}_2 \cdot \tilde{k}_2, \bar{P}_2 \cdot \bar{k}_2) + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{P}_3 \cdot \tilde{k}_3, \bar{P}_3 \cdot \bar{k}_3) +$$

$$\begin{aligned}
& + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{P}_4 \cdot \tilde{k}_4, \tilde{P}_4 \cdot \tilde{k}_4) + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{L}_{1,2} \cdot \tilde{k}_{1,2}, \tilde{L}_{1,2} \cdot \tilde{k}_{1,2}) + \\
& + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{L}_{2,3} \cdot \tilde{k}_{2,3}, \tilde{L}_{2,3} \cdot \tilde{k}_{2,3}) + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{L}_{3,4} \cdot \tilde{k}_{3,4}, \tilde{L}_{3,4} \cdot \tilde{k}_{3,4}).
\end{aligned}$$

На рис. 3 представлені результати синтезу функцій належності на кожному з етапів руху контейнера по маршруту "Busan – Shanghai – Constanza – Ilyichevsk" для сезону зима-весна, а рис. 4 – процес формування короткострокового плану прибуття контейнерів.

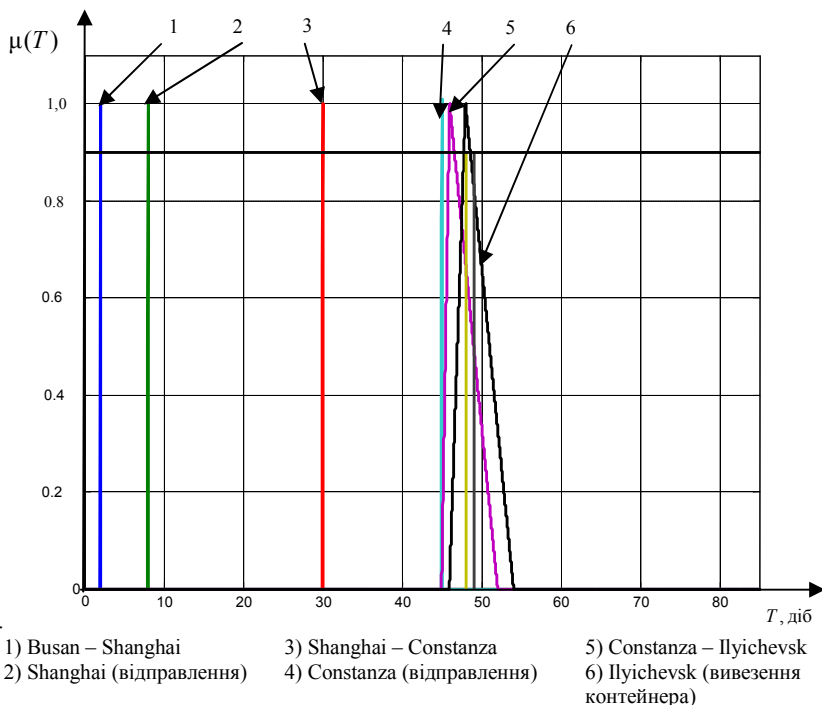


Рис. 3. Прогнозування часових параметрів для 6-ти етапів

**Висновки.** В результаті проведених досліджень створено нечітку модель процесу транспортування контейнерів з урахуванням статистичних даних вибірки обсягом 5864 елементів та формалізацією експертної інформації відносно впливу сезонного фактору на зміну параметрів руху контейнерів. Розроблена модель враховує характер невизначеності вхідної інформації відносно часу перевантаження в проміжних портах та часу переходу між портами. Обґрунтовано та формалізовано методику синтезу функцій належності нечітких множин, що характеризують окремі етапи руху

контейнерів. Синтез здійснюється на основі гістограм розподілу елементів статистичної вибірки. На основі нечіткої моделі руху контейнерів розроблено алгоритм прогнозування часу прибуття контейнера до порту призначення та алгоритм формування короткострокового плану прибуття контейнерів.

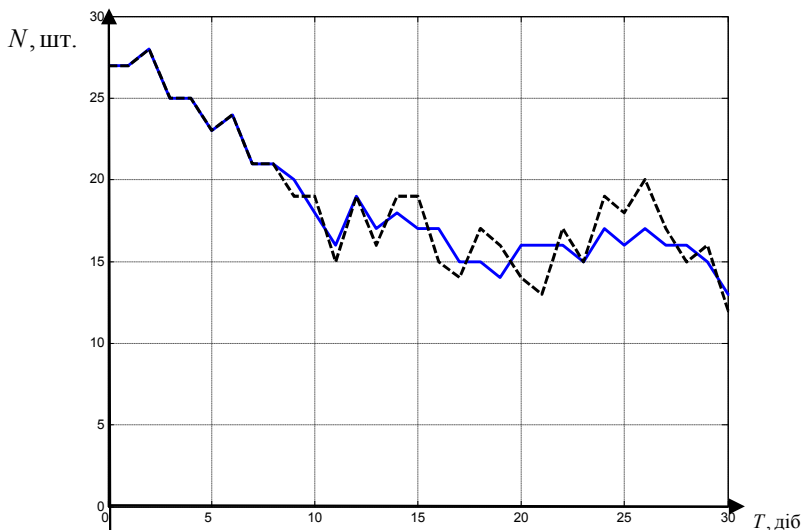


Рис. 4. Формування короткострокового плану прибуття контейнерів:  
 а) неперервна лінія – прогнозована кількість контейнерів;  
 б) пунктирна лінія – фактична кількість контейнерів за добу

Здійснено перевірку адекватності розроблених моделей та сформованих на їх основі алгоритмів шляхом імітаційного моделювання та порівняння отриманих прогнозів з фактичними даними для додаткової вибірки з 491 контейнерів. На основі моделювання встановлено, що при виборі  $\alpha$ -рівня = 0,9 кількість контейнерів, які потрапили у прогнозований часовий інтервал, дорівнює 67 % (випадок повної відсутності детермінованої інформації), що відповідає наперед встановленим вимогам.

**Список літератури:** 1. Kondratenko Y.P., Werners B. Solving routing problem in marine environment using fuzzy logic / Proc. of Int. Conf. on Modelling and Simulation MS'2001. – Lviv. – 2001. – P. 109–110. 2. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and control. – 1965. – №. 8. – P. 338–353. 3. Zimmerman H.J. Fuzzy Set Theory. – 2nd edition. – Kluwer, Boston, 1991. – 315 p. 4. Weber R., Werners B., Zimmermann H.-J. Planning models for research and development // European Journal of Operational Research. – 1990. – 48. – P. 175–188. 5. Шолун А.Г. Построение функции принадлежности нечеткого множества и оценка его вероятностных характеристик. – 2003. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/040.pdf>



УДК 651.326

**Нечеткие модели и алгоритмы для прогнозирования параметров морских контейнерных перевозок / Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А., Подопрыгора Д.Н., Мартыненко Е.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 87 – 95.**

Рассматриваются вопросы формализации нечеткими множествами и средствами нечеткой арифметики неопределенностей, возникающих при прогнозировании сроков прибытия грузов в порт назначения при осуществлении морских контейнерных перевозок. Сформированные нечеткие модели основаны на экспертных оценках и статистических данных движения контейнеров на направлении "Юго-Восточная Азия – Украина". Результаты имитационного моделирования подтверждают эффективность предложенного подхода для решения задач прогнозирования. Ил.: 4. Библиогр.: 5 назв.

**Ключевые слова:** нечеткая модель, алгоритм прогнозирования, параметры морских контейнерных перевозок, экспертные оценки, статистические данные, имитационное моделирование.

UDC 651.326

**Fuzzy models and algorithms for prediction of parameters of sea container transportation / Kondratenko Y.P., Sydorenko S.A., Pidopryhora D.M., Martynenko Ye.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 87 – 95.**

The formalization of uncertainty, which appear during prediction of cargo arriving time to destination port in international sea transportation, is considered in the report using fuzzy sets and fuzzy arithmetic approach. Suggested fuzzy models are based on the experts' evaluations and statistical data about containers movement in the direction "South-East Asia - Ukraine". The results of simulation modeling confirm the efficiency of suggested approach for prediction tasks solving. Figs: 4. Refs: 5 titles.

**Key words:** fuzzy model, algorithm of the forecasting, parameters of sea containerized transportation, expert estimations, statistical data, simulation modeling.

*Поступила в редакцию 28.10.2008*