

УДК 656.13.07

## ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МОРСКОГО ПОРТА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЕГО ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ

**Берестовой А. М.**, д.т.н., проф., заведующий кафедрой судовождения и морских перевозок Азовского морского института Национального университета «Одесская морская академия», E-mail: [bamat136@gmail.com](mailto:bamat136@gmail.com);

**Зинченко С. Г.**, к.э.н., начальник отдела системы управления качеством государственного предприятия «Мариупольский морской торговый порт», E-mail: [s74@mail.ru](mailto:s74@mail.ru)

*В настоящей статье рассмотрены вопросы структуры транспортно-технологической системы Мариупольского морского порта, сделан анализ взаимодействия транспортных систем морского региона. Поставлена проблема исследования объектов многокритериальной транспортной системы, а также предложена математическая модель исследования транспортных систем.*

**Ключевые слова:** система, объект, транспорт, узел, развитие, схема, модель.

**Введение.** В современных условиях развития промышленно-транспортного региона Восточной Украины с перспективой повышения производительности, увеличения номенклатуры и объемов производства аграрного сектора требуется совершенствование работы объектов морского транспорта, в частности морского порта и особенно его инфраструктуры. Развитие морского порта должно учитывать также оборонную и энергетическую стратегии Украины.

Морской порт сам по себе является сложной промышленно-транспортной системой, которая постоянно развивается и взаимодействует с другими промышленно-транспортными системами, в том числе смежными портами, производственными, внешними транспортными и другими системами. Названные системы постоянно развиваются и в своем развитии влияют друг на друга. Оценочные показатели их развития носят мультикритериальный характер.

Эффективность работы морского порта оценивается в основном эффективностью функционирования его транспортной инфраструктуры, составом и техническим состоянием ее объектов. Промышленность и транспорт Восточного региона Украины активно развиваются в силу технико-экономического развития страны и ее вхождения в мировые промышленно-транспортные системы [1]. При развитии промышленно-аграрного региона увеличивается номенклатура грузов и объемы их транспортировки через морской порт.

При этом транспортную инфраструктуру порта составляют процессы и объекты различных видов транспорта, в том числе автомобильного, железнодорожного, водного, объекты портофлота, погрузо-разгрузочные и складские средства, непрерывные виды транспорта и другие, которые также развиваются.

**Постановка проблемы.** Развитие процессов и объектов промышленно-транспортной системы порта требует значительного увеличения расходов природных, энергетических и трудовых ресурсов, поэтому необходимо принять решение, в каком направлении, какие процессы и объекты развивать, с учетом повышения эффективности работы всей системы.

В этих условиях возникает необходимость разработки метода адекватной оценки использования природных, энергетических и трудовых ресурсов транспортно-технологической системы (ТТС) морского порта, что позволит определить приоритетность совершенствования объектов и процессов, и на этой основе выявить направления, а также резервы экономии названных ресурсов.

Оценка рационального использования названных ресурсов представляет определенную сложность и она возможна только на многокритериальной основе. На этой

же основе целесообразна разработка метода оценки взаимосвязи внешних и внутрипортовых транспортно-технологических систем и эффективности их функционирования.

**Цель статьи.** Разработать основы метода оценки взаимодействия транспортных систем морского порта на базе использования природных, энергетических и трудовых ресурсов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Исследованиям в сфере взаимодействия систем уделено внимание в работах ученых: Сай В. М. [2], Сурмин Ю. П. [3], Сыч Е. Н. [4], Хлестова О. А. [5] и других. Большинство современных авторов в основу развития предприятий морского транспорта положили механизмы рыночных отношений. При этом вопросам эффективного взаимодействия систем, развития процессов и объектов транспортной инфраструктуры порта уделено недостаточное внимание.

**Основное содержание работы.** Транспорт охватывает технологии и объекты в транспортно-технологическом процессе «производство – транспорт – потребление грузов» [1].

Организация синтеза внутренних и внешних транспортных процессов перемещения материальных потоков между производителями и потребителями, связанными с транспортировкой грузов, и взаимосвязи между данными системами описана в [6].

Элементы в системе находятся не сами по себе, а связаны друг с другом. Системы также формируют связи между собой. Под связью понимается любого рода взаимодействие между частями системы. Связь выступает в виде качества, которое заключается в том, что все предметы, явления объективной действительности находятся в бесконечно многообразной зависимости и в многообразных отношениях.

Связи выступают важнейшей характеристикой сложной системы. Чем сложнее система, тем больше возможностей для ее совершенствования. В системе постоянно возникают новые связи, взаимодействия, в результате чего в ней образуются новые свойства. Система, в которой функционирует морской порт, разработана авторами и представлена в виде логистически-пирамидальной схемы (рис. 1).

Морской порт, как транспортный узел, представляет собой сложную мультимодальную систему в совокупности со смежными видами транспорта, совместно выполняющими операции по обслуживанию возрастающих перевозок грузов, проходящих через порты, ж/д станции, автопредприятия, аэропорт, промышленный транспорт и подъездные пути, трубопроводы, средства транспортировки энергоносителей, системы оборонного назначения, агропромышленного комплекса и тому подобные.

Предложенная схема логистически-пирамидальной транспортной системы (рис. 1) связывает в единое целое транспортные, материальные, информационные и другие логистические потоки Восточного региона Украины. Она является сложной, самодостаточной, замкнутой и одновременно взаимодействует с системами других регионов.

В настоящей работе исследование развития системы транспорта Восточного региона Украины осуществлено с позиций расхода природно-энергетических ресурсов (ПЭР) в ТТС порта из расчета на единицу транспортируемой продукции. Каждый элемент системы потребляет ресурсы и производит полезно используемые в дальнейшем и неиспользуемые (вредные) отходы, загрязняющие окружающую среду.

На взаимодействие транспортных систем морского порта влияют факторы: технико-технологические, природно-климатические, социально-экономические, экологические и другие [1].

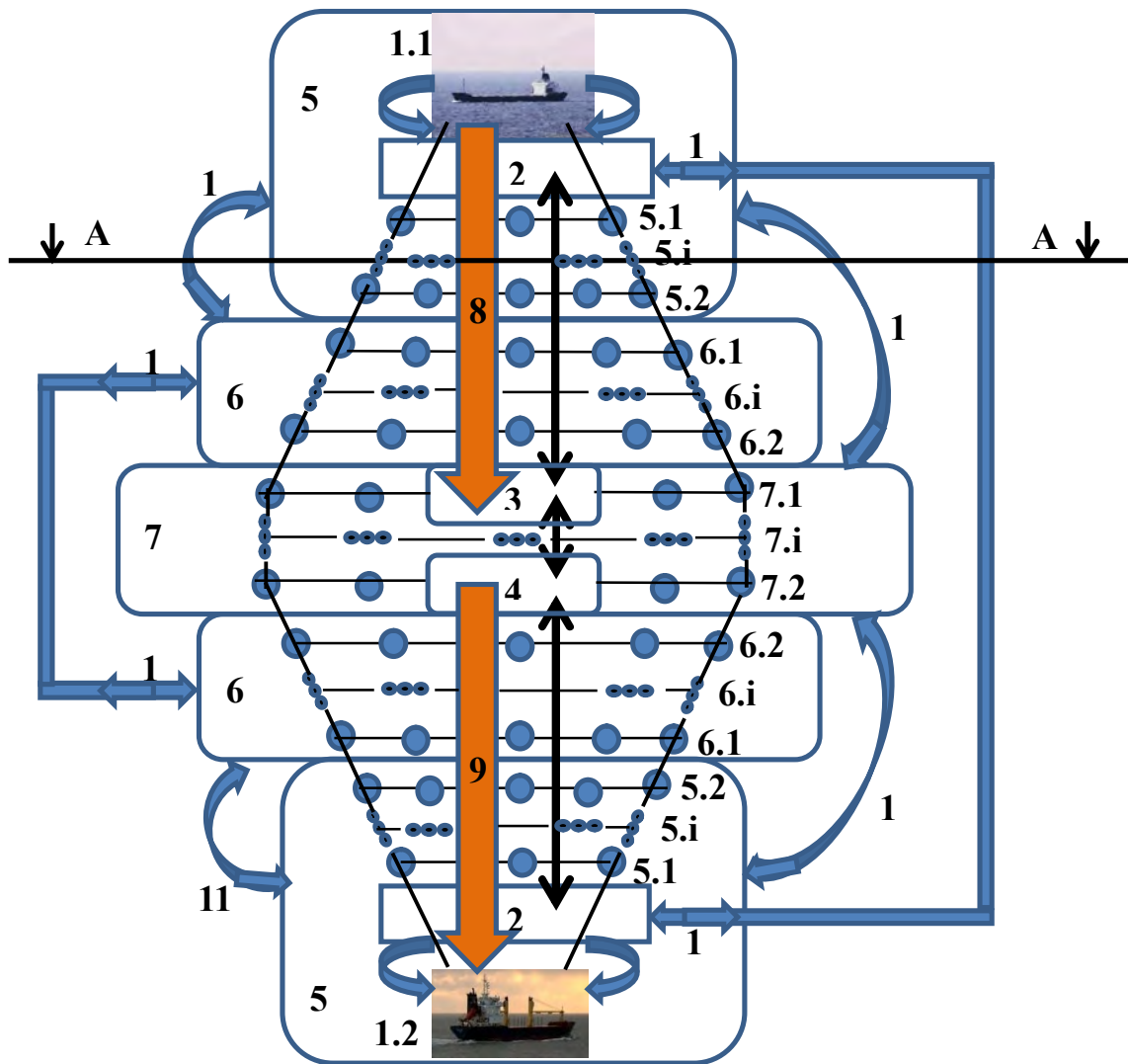






Рисунок 1 – Логістично-пірамідална транспортна система забезпечення роботи морського порту в промисловно-аграрному регіоні:

1 – судно у морського порту: 1.1 – прибуття судна; 1.2 – відправлення судна; 2 – причал морського порту; 3 – споживачі; 4 – постачальники; 5 – транспортно-технологічна система (ТТС) порту: 5.1 – система ж/д транспорту; 5.2 – система автотранспорту; 5.i – інші системи; 6 – зовнішні (для порту) ТТС: 6.1; 6.2; 6.i – системи спеціального; промислового транспорту і др.; 7 – ТТС виробників і споживачів: 7.1; 7.2; 7.i – магістральний транспорт; складські і інші системи; 8 – вивантаження вантажу з судна; 9 – завантаження вантажу на судно; 10 – взаємозв'язки ТТС порту і ТТС виробників (споживачів); 11 – взаємозв'язки ТТС порту з зовнішніми ТТС; 12 – реверсивні зв'язки всередині ТТС порту

Умовні позначення:

-  – вантажні і транспортні потоки
-  – взаємозв'язки ТТС
-  – інформаційні зв'язки
-  – сечення по AA – складові (рис. 2а і 2б) конкретної ТТС, окремого виду транспорту в ТТС морського порту

Составляющие систему процессы и объекты показаны на рис. 2, который представляет собой структуру разреза по А-А рис. 1, а именно – взаимные связи составляющих процессов и объектов конкретной ТТС морского порта.

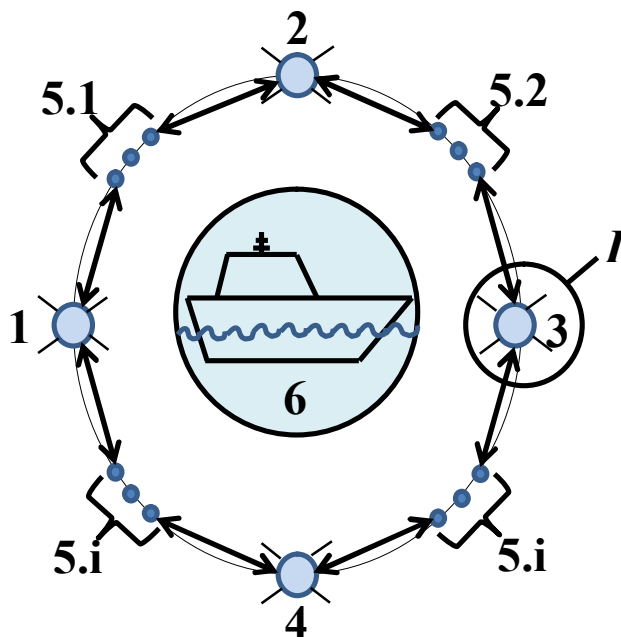


Рисунок 2 – Схема составляющих отдельных процессов и объектов ТТС порта:  
 1 – причал; 2 – погрузочно-разгрузочные средства; 3 – средства транспортировки и перемещения груза (*I*; выделен в рис. 3); 4 – склад; 5 – объекты и процессы управления: 5.1 – механизации и автоматизации; 5.2 – хранения; доработки и подготовки груза; 5.i – техобслуживания и ремонта транспортной подсистемы и др.; 6 – судно под грузовыми операциями в порту

На рис. 3 представлена схема потребляемых ресурсов отдельным (*I-м*) объектом ТТС порта.

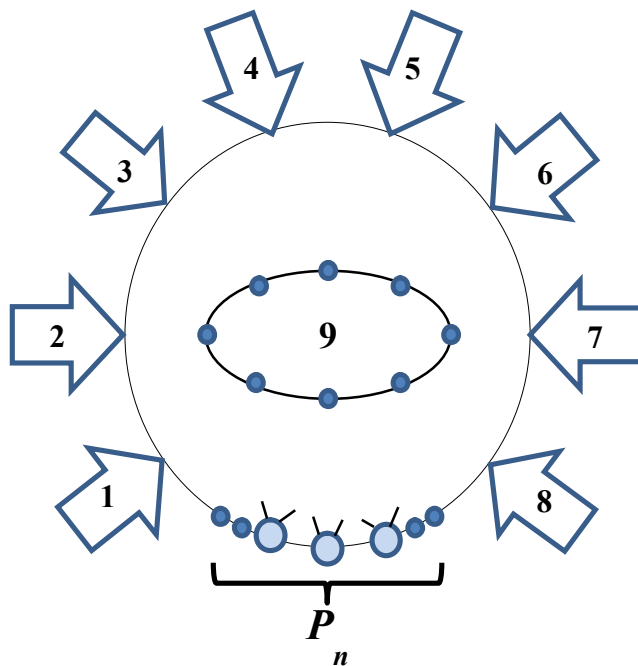


Рисунок 3 (объект *I* рис. 2) – Схема потребления природно-энергетических и трудовых ресурсов отдельными объектами и процессами одной из ТТС порта:  
 1 – атмосфера; 2 – гидросфера; 3 – литосфера; 4 – фитосфера; 5 – биосфера; 6 – территории; 7 – трудовые ресурсы; 8 – энергоресурсы; 9 – отдельный объект ТТС порта;  $P_n$  – расходные ресурсы ТТС порта (кроме рассматриваемых в пп. 1–8)

Взаимосвязь между узлами системы, а также количественные характеристики ее связей могут быть представлены с помощью матриц смежности и потоков, что обеспечивает возможность хранения и обработки сетей в электронном виде [2].

Операционная оценочная модель транспортной системы морского порта на уровне оценки потребления ПЭР объектами и процессами ТТС может быть представлена [5]:

$$Un = f(x_{ki}, y_{ki}), \quad (1)$$

где  $Un$  – полезность (значение) критерия, который характеризует качество транспортно-технологической схемы,  $f$  – функция, задающая соотношение между  $Un$ ,  $x_{ki}$  и  $y_{ki}$ ,  $x_{ki}$  – управляемые переменные,  $y_{ki}$  – изменяемые и постоянные параметры (либо величины), которые не поддаются управлению, но влияют на  $Un$ .

Для транспортных систем, рассматриваемых как совокупность процессов, протекающих во времени и пространстве, определяется параметр интенсивности процесса  $\lambda_{IT}$  в данном его сечении  $l$  и в заданный момент времени  $T$  (отсчет от некоторого момента времени принятого за начало координат) [6]:

$$\lambda_{IT} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N}{\Delta t}, \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – некоторая окрестность точки отсчета с координатой  $T$  в виде интервала  $[T-\delta t, T+\delta t]$ ;  $N$  – количественное значение показателя процесса в системе, прошедшее через его поперечное сечение за момент времени  $\Delta t$ , (например: тонн перевезенного груза, единиц экологических загрязнителей (ПДК), единиц энергозатрат и т.д.).

Данные факторы носят как внешний, так и внутренний характер. Внешние факторы характеризуются тем, что элементы системы индифферентны по отношению друг к другу, а особенность внутренних в том, что образуемая ими система выступает как единство подобных элементов. Функционирование связей как внутри систем, так и между собой представляет собой постоянное воспроизводство функционального эффекта, который сводится к способности системы делать то, что принципиально не может сделать каждый ее отдельный элемент [3].

В настоящее время основной путь взаимодействия систем – совместное использование ими устаревшего и нового оборудования, особенно суброгацийных [7] и современных судов.

Зная интегральные затраты  $G_{umm.mi}^r$  и затраты на перевозку потребителю груза  $k$ -го вида, определяется оптимальный план работы ТТС порта и устанавливаются рациональные связи в ней. При этом должны быть соблюдены условия обязательного удовлетворения как совокупного спроса в регионе, так и по каждому потребителю продукции. Ограничениями являются установленные лимиты ресурсов при минимизации производственно-транспортных затрат.

Поскольку логистически-пирамидальная система (рис. 1) объединяет несколько ТТС: поставщиков, внешнего транспорта, порта и потребителей, соответственно имеются несколько уровней переменных на уровне ТТС порта (рис. 1, поз. 5). При этом рассматривается отдельный объект ТТС порта (рис. 2, поз. 3), где учитывается количество и интенсивность потребления ресурсов, объемы перевозок грузов от поставщиков в порт и из порта потребителям, вид транспорта.

Математическая модель решения данной многокритериальной задачи может иметь цель найти значения переменных  $x_i^r$ ,  $Y_{ijk}^t$ ,  $Y_{\varphi i \psi}^t$ , при которых минимизируется величина целевой функции [8]:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} G_{umm.mi}^r x_i^r + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l S_{ijk}^t (1+E)^{T-t} Y_{ijk}^t + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \sum_{\psi=1}^{\Psi} \sum_{\varphi=1}^{\Phi_{\psi}} S_{\varphi i \psi}^t (1+T)^{T-t} Y_{\varphi i \psi}^t, \quad (3)$$

и выполняются условия:

– общий объем поставок груза  $k$ -го вида за время  $t$  не может превышать соответствующего объема производства:

$$\sum_{r=1}^{R_i} a_{ik}^{rt} x - \sum_{j=1}^n Y_{ijk}^t \geq 0 \begin{cases} i = 1, 2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, l \\ t = 1, 2, \dots, T \end{cases}, \quad (4)$$

– заданная потребность  $j$ -го процесса или объекта в грузе  $k$ -го вида за время  $t$  должна быть полностью удовлетворена:

$$\sum_{i=1}^m Y_{ijk}^t = d_{jk}^t \begin{cases} j = 1, 2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, l \\ t = 1, 2, \dots, T \end{cases}, \quad (5)$$

– все ТТС совместно должны перевезти не меньше заданного объема за определенное время:

$$\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} a_{ik}^{rt} Y_{jk}^t x_i^r \leq P_f \begin{cases} f = 1, 2, \dots, F \\ t = 1, 2, \dots, T \end{cases}. \quad (6)$$

Производственно-транспортные задачи с непрерывными переменными решаются с помощью методов линейного программирования. Изложение алгоритмов при решении этих задач требуют значительного объема исследований, связанных с взаимоувязкой множества иногда противоречивых параметров.

В современных условиях оценки в ТТС использования природно-энергетических и трудовых ресурсов иногда недостаточно верно определяется и учитывается ценность ПЭР.

На основании исследований [6] использование ПЭР в ТТС в стоимостном выражении представлено на диаграмме рис. 4, из которой видно, что литосфера и фитосфера являются наиболее дорогостоящими составляющими по затратам на 1 тонну транспортируемого груза. В то же время, такие затраты, как гидросфера, энергетические и трудовые ресурсы являются наименее ценными.

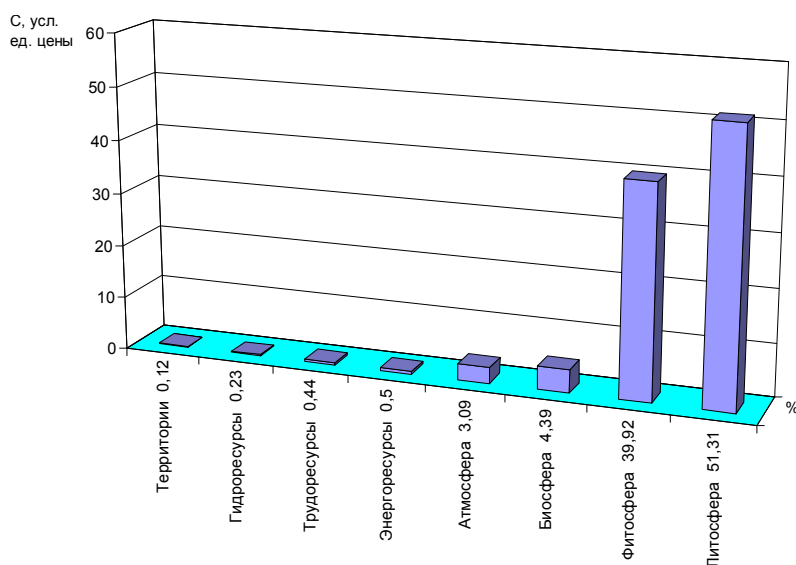


Рисунок 4 – Гистограмма распределения затрат ПЭР в стоимостном выражении на одну тонну транспортируемого груза в ТТС

При этом, интересы каждой отдельной системы транспорта, даже в конкретной системе, между ее составляющими, создают противоречивые ситуации по приоритетам развития и взаимоувязки значительного количества, порой взаимоисключающих,

отдельных технологий и объектов. В этом случае оценочные критерии также могут быть противоречивыми.

Из методов многокритериальной оптимизации для данных условий развития ТТС наиболее приемлемыми являются человеко-машинные процедуры, в которых применим диалог лица, принимающего решение и ЭВМ. При этом не требуется задавать функцию предпочтения в явном виде. Для реализации алгоритма требуется минимум информации лица, принимающего решение о функции, который необходим для проведения вычислений [9].

**Выводы.** Анализ процессов и объектов ТТС морского порта показал, что при значительном уровне ресурсосбережения не существует соответствующих методов их оценки, позволяющих выбрать рациональное направление повышения эффективности работы транспортных объектов порта. Классификация систем, их взаимодействие, а также внутренние связи между их элементами представляет собой сложную проблему, которая еще не полностью разрешена в науке, в частности, оценки многокритериальных транспортных систем с учетом затрат ПЭР, и поэтому данная проблема требует дальнейшего исследования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берестовой А. М. Проблемы эксплуатации и ремонта объектов транспортно-технологической системы морского порта в условиях его развития / А. М. Берестовой, С. Г. Зинченко, Л. Ф. Хлопецкая // Судовождение : сб. науч. трудов. – НУ ОМА, Вып. 26. – Одесса : «ИздатИнформ», 2016. – С. 175–182.
2. Сай В. М. Планетарные системы управления на железнодорожном транспорте. / В. М. Сай. – М. : ВINITI, 2003. – 336 с.
3. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / Ю. П. Сурмин. – К. : МАУП, 2003. – 368 с.
4. Сыч Е. Н. Повышение эффективности функционирования прогрессивных технологических систем морских перевозок грузов : тексты лекций / Е. Н. Сыч – М. : ЦРИА «Морфлот», 1982. – 68 с.
5. Хлестова О. А. Повышение эффективности транспортно-технологической схемы доменного производства : дисс. кандидата техн. наук: 05.22.12 / О. А. Хлестова. – Днепропетровск, ПГТУ, 2015. – 172 с.
6. Берестовой А. М. Синтез процессов и объектов в материальных потоках транспорта затвердевающих жидкостей: дисс. доктора техн. наук / А. М. Берестовой. – Мариуполь, ПГТУ, 2002. – 528 с.
7. Берестовой А. М. Повышение уровня безопасности мореплавания суброгадийных морских судов / А. М. Берестовой, С. Н. Перепечаев, А. А. Черныш // Материалы международной научно-технической конференции. – Мариуполь : АМИ ОНМА, 2014. – С. 67–69.
8. Семенов А. И. Логистика. Основы теории : учебник для вузов / А. И. Семенов, В. И. Сергеев. – СПб. : Издательство «Союз», 2001. – 544 с.
9. Вопросы анализа и процедуры принятия решений : сборник переводов / под редакцией И. Ф. Шахова. (пер. с англ.) – М. : Мир, 1976. – 232 с.

### REFERENCES

1. Berestovoyj A. M., Zinchenko S. G. & L. F. Khlopecskaya (2016). Problemih ehkspluatacii i remonta objhktov transportno-tekhnologicheskoyj sistemih morskogo porta v usloviyakh ego razvitii *Sudovozhdenie : sb. nauch. Trudov*, 26, 175-182.
2. Sayj V. M. (2003). *Planetarnihe sistemih upravleniya na zheleznodorozhnom transporte*. M. : Viniti.
3. Surmin Yu. P. (2003). *Teoriya sistem i sistemnihyj analiz : ucheb. posobie* K. : MAUP.

4. Sihch E. N. (1982). *Povihshenie ehffektivnosti funkcionirovaniya progressivnykh tekhnologicheskikh sistem morskikh perevozok gruzov*. M. : CRIA «Morflot».
5. Khlestova O. A. (2015). *Povihshenie ehffektivnosti transportno-tekhnologicheskoy skhemih domennogo proizvodstva. Candidate's thesis*. Dnepropetrovsk : PGU.
6. Berestovoy A. M. (2002). *Sintez processov i objhektov v materialnykh potokakh transporta zatverdevayuthikh zhidkostey. Doktor's thesis*. Mariupolj : PGU.
7. Berestovoy A. M., Perepechaev S. N. & Chernihsh A. A. (2014). *Povihshenie urovnya bezopasnosti moreplavaniya subro-gaciynykh morskikh sudov. Materialih mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Mariupolj : AMI ONMA, 67–69.
8. Semenenko A. I. & Sergeev V. I. (2001). *Logistika. Osnovih teorii : uchebnik dlya vuzov*. SPb. : Izdatelstvo «Soyuz».
9. Shakhova I. F. (Ed.). (1976). *Voprosih analiza i procedurih prinyatiya resheniy : sbornik perevodov*. M. : Mir.

**Берестовий А. М., Зінченко С. Г.** ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ МОРСЬКОГО ПОРТУ ПРИ ВДОСКОНАЛЕННІ ЙОГО ПРОЦЕСІВ І ОБ'ЄКТІВ

*У цій статті розглянуті питання структури транспортно-технологічної системи Маріупольського морського порту, зроблений аналіз взаємодії транспортних систем морського регіону. Вирішено проблему дослідження об'єктів многокритеріальної транспортної системи, а також запропоновано математичну модель дослідження транспортних систем.*

**Ключові слова:** система, об'єкт, транспорт, вузол, розвиток, схема, модель.

**Berestovoy A. M., Zinchenko S. G.** FOUNDATIONS OF MODELING OF TRANSPORT SYSTEMS SEAPORT WITH PERFECTION ITS PROCESSES AND FACILITIES

*This article describes how to structure the transport and technological system of the Mariupol Sea port objects, made an analysis of existing traffic on the example of region. Posed the problem of multicriteria research facilities of the transport system, as well as the mathematical model study of transport systems.*

**Keywords:** system, object, transport, assembly, development, diagram, model.

© Берестовий А. М., Зінченко С. Г.

Статтю прийнято  
до редакції 11.04.16