

УДК 681.518:656.071.4

Т.Е. Корниец, А.К. Смаркалова

**ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
НА ПОРТОВОМ ТЕРМИНАЛЕ**

Определены условия формирования информационных потоков с последующей оценкой показателей эксплуатации перегрузочного оборудования.

Построена вероятностная модель работы терминала для случая складского варианта взаимодействия транспортных потоков. Полученные результаты позволили вычислить вероятностные показатели и условия устойчивой работы терминала стивидорной компании. Подход основан на теории систем массового обслуживания, работающих в случайной среде.

Ключевые слова: *информационные потоки, производственный процесс стивидорной компании, вероятностные показатели.*

Визначені умови формування інформаційних потоків з наступною оцінкою показників експлуатації перевантажувального обладнання.

Побудована ймовірнісна модель роботи терміналу для випадку складського варіанту взаємодії транспортних потоків. Отримані результати дозволили визначити ймовірнісні показники й умови стійкої роботи терміналу стивідорної компанії. Підхід оснований на теорії систем масового обслуговування, працюючих у випадковому середовищі.

Ключові слова: *інформаційні потоки, виробничий процес стивідорної компанії, ймовірнісні показники.*

The conditions of formation of information flows, followed by assessment of performance operation handling equipment are determined.

Probabilistic model of the terminal work in the case of storage options interaction of traffic flows is built. The results allowed to formulate the probability figures and conditions for the stable operation of the stevedoring company terminal. The approach is based on the theory of mass service systems operating in a random environment.

Keywords: *information flows, the production process of the stevedoring company, probability indicators.*

Введение. Как и в любой производственной сфере, качество производственного процесса стивидорной компании тесно связано с надежным функционированием всех его элементов: ресурсов, технологии, системы управления и др.

© Корниец Т.Е., Смаркалова А.К., 2016

Под производственным процессом авторы статьи понимают число транспортных средств (ТС), находящихся на терминале стивидорной компании в некоторый момент времени, а также число работоспособных перегрузочных машин. Эти две важнейшие характеристики – качество и надежность – тесно переплетаются и дополняют друг друга и, как системные понятия, имеют сложную структуру со своими элементами, логическими, информационными и технологическими связями. Количественно обе они оцениваются набором различных показателей, причем некоторые показатели надежности могут рассматриваться одновременно и как показатели качества. Среди показателей качества производственного процесса одним из важных является информация.

Наличие информационного потока, обеспечивает поддержание производственного процесса в работоспособном состоянии, предоставляя информацию о ходе производственного процесса, о состоянии перегрузочных машин, о фактах их отказов, что позволяет в любой момент времени принять своевременные управленческие решения, направленные на обеспечение работоспособного состояния перегрузочного процесса. Тем самым, предотвращая риски, связанные с возможностью нарушения установленных договорных обязательств, например превышения фактического стояночного времени судна договорного времени (сталийного времени). Этим обосновывается актуальность проведенного исследования.

Анализ литературных источников и постановка проблемы. В широком понимании производственная деятельность стивидорной компании охватывает процессы эксплуатации, поддержания материально-технических и трудовых ресурсов в состоянии высокой работоспособности и рационального использования, а также модернизации и развития ее терминалов. Каждый из этих процессов требует организации и управления, которые невозможно осуществить без наличия полной, своевременной и точной информации.

В реальной производственной практике стивидорной компании, при наличии достоверной информации, существенную помощь могут оказать современные подходы по управлению эксплуатационной надежностью терминала, основанные на методах математической теории надежности, математической статистики и теории оптимизации [1-3]. Это продемонстрировано, в частности, в работе [4], посвященной разработке метода оценки риска дополнительного простоя судна под грузовыми операциями из-за ограниченной надежности перегрузочных машин.

Для оценки значений параметров производственного процесса стивидорной компании необходимо располагать научно обоснованными методами расчета вероятностных показателей отдельных его подсистем и элементов. В настоящее время специальная литература, посвященная исследованию данной проблемы на основе теории систем массового обслуживания (СМО), работающих в случайной среде, весьма обширна [5-10].

Отметим, что альтернативой аналитическому подходу для исследования работы терминала стивидорной компании, который используется в данной работе, служат методы имитационного моделирования, которые широко применяются в зарубежной практике проектирования и анализа работы портовых терминалов [11-12].

Цель и задачи исследования. *Объект исследования* – информационные потоки, порождаемые процессом обработки транспортных средств на терминале стивидорной компании и отказы перегрузочного оборудования и его восстановления.

Целью данной работы является разработка организации сбора и обработки статистической информации о режимах эксплуатации портового перегрузочного оборудования, необходимая для прогнозирования вероятности простоя судов в результате внезапных отказов оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

- 1) определить условия формирования информационных потоков;
- 2) построить вероятностную модель функционирования терминала стивидорной компании методами теории массового обслуживания;
- 3) разработать методы расчета вероятностных показателей производственного процесса.

Материалы и методы исследования условий формирования информационных потоков, определяющих возможность проведения оценки вероятностных показателей производственного процесса стивидорной компании.

Определение условий формирования информационных потоков. В современных условиях информационное обеспечение стало важной областью в управлении производственным процессом и эксплуатации портовых перегрузочных машин, которое состоит в сборе и переработке информации, необходимой для принятия обоснованных управленческих решений. Передача информации о наличии судов и подвижного состава под обработку, о ходе погрузо-разгрузочного процесса, о местоположении машин, их техническом состоянии, и взаимный обмен информацией между всеми взаимосвязанными подразделениями стивидорной компании является основой формирования информационных потоков в производственной среде.

Рассматривая информационные потоки, выделим две необходимые составляющие:

- показатели качества информации;
- техническое и технологическое сопровождение информационного потока.

Для производственного процесса стивидорной компании главными показателями качества информации являются содержательность, своевременность и точность.

Содержательность и точность информации зависит от многих факторов, связанных с изменениями внутренней среды, происходящими в результате производственной деятельности стивидорной компании. К таким, в частности, относятся изменения связанные с уровнем организации погрузо-разгрузочных работ, организацией технической эксплуатации портового перегрузочного оборудования, а также возможностью его внезапных отказов и последующих восстановлений. Своевременность, в первую очередь, обеспечивается применением современных методов управления производством, а также наличием технического и технологического сопровождения информационного потока.

К техническому и технологическому сопровождению информационных потоков в портовой производственной среде можно отнести:

1) организацию ведения различных баз данных (общей информации о перегрузочных машинах, о режимах и условиях работы, об отказах, о технико-экономической информации и т.д.);

2) организацию качественного статистического учета использования во времени перегрузочных машин (и даже их наиболее важных узлов), потоков, отказов и восстановлений этих машин;

3) внедрение средств автоматики и новых информационных технологий;

4) создание единого информационного пространства для всех участников производственного процесса.

Немаловажным фактором, является накопление данных с целью их последующей обработки.

В результате появляется возможность использования наукоемких методик прогнозирования и управления производственным процессом с помощью методов математической теории надежности на основе статистической обработки информации.

Для исследования вопроса рассмотрим случай, когда транспортные потоки, прибывающие на терминал стивидорной компании (портовый перегрузочный комплекс), взаимодействуют между собой по складскому варианту. Отметим, что в чисто математическом плане эта задача более сложна, чем в случае прямого варианта взаимодействия транспортных потоков, где можно использовать традиционный математический аппарат теории массового обслуживания – цепи Маркова, полумарковские процессы и др. [10]. Как отмечено в [7] для складского варианта необходимо использовать более общие и сложные типы случайных процессов – марковские процессы со сносом и их модификации.

Нахождение вероятностных показателей производственного процесса стивидорной компании при складском варианте взаимодействия потоков транспортных средств. Рассмотрим портовый перегрузочный комплекс (ППК), включающий один причал и склад, на который прибывает для выгрузки однородного груза поток груженых судов. Выгрузка груза с судов производится с помощью N параллельно работающих технологических линий, причем производительность любой

линии равна Π_1 . Таким образом, общая производительность всех линий равна $М\Pi_1$. Весь выгружаемый из судна груз попадает непосредственно на склад, откуда он вывозится равномерно со скоростью $U < М\Pi_1$ (если склад не пуст). Вместимость склада предполагается достаточной большой, так что мы будем пренебрегать вероятностью полного заполнения складской емкости и можем возникнуть в связи с этим дополнительным простоем судов. Линии предполагаются ненадежными в рабочем состоянии, причем любая линия независимо от других линий с вероятностью $\alpha\Delta t + o(\Delta t)$ в интервале времени $(t, t + \Delta t)$ выходит из строя и немедленно после отказа начинает восстанавливаться.

В малом интервале времени $(t, t + \Delta t)$ происходит завершение восстановления одной линии с вероятностью $b\Delta t + o(\Delta t)$.

Грузоподъемности судов предполагаются взаимонезависимыми случайными величинами, распределенными по показательному закону со средним значением g . Поток судов, прибывающих под выгрузку, описывается моделью однородного пуассоновского процесса с интенсивностью λ .

Производственные системы описанного типа в монографии [7] названы транспортно-складскими системами (ТСС). В таких системах осуществляется взаимодействие потока ТС с непрерывным видом транспорта (см. рисунок). Если считать, что поток ТС, вывозящий со склада груз, образован ТС с относительно небольшой (по сравнению с судами) грузоподъемностью, причем интервалы времени между прибытием соседних ТС весьма малы, то приближенно такой поток можно считать равномерным.

Поведение описанной ТСС в любой момент времени может быть описано следующим случайным вектором:

$$(v(t), n(t), \xi(t)),$$

где $v(t)$ – число судов, находящихся в очереди к причалу и под выгрузкой в момент t ;

$n(t)$ – число работоспособных линий в момент t ;

$\xi(t)$ – количество груза, находящегося в момент t на складе.

В силу сделанных выше предположений векторный случайный процесс $(v(t), n(t), \xi(t))$ относится к классу однородных марковских процессов со сносом [7], определен над фазовым пространством состояний

$$\Omega = S \times [0, \infty),$$

где $S = \{(k, i) : k = 0, 1, 2, \dots; i = 0, 1, \dots, N; k + i > 0\}$.

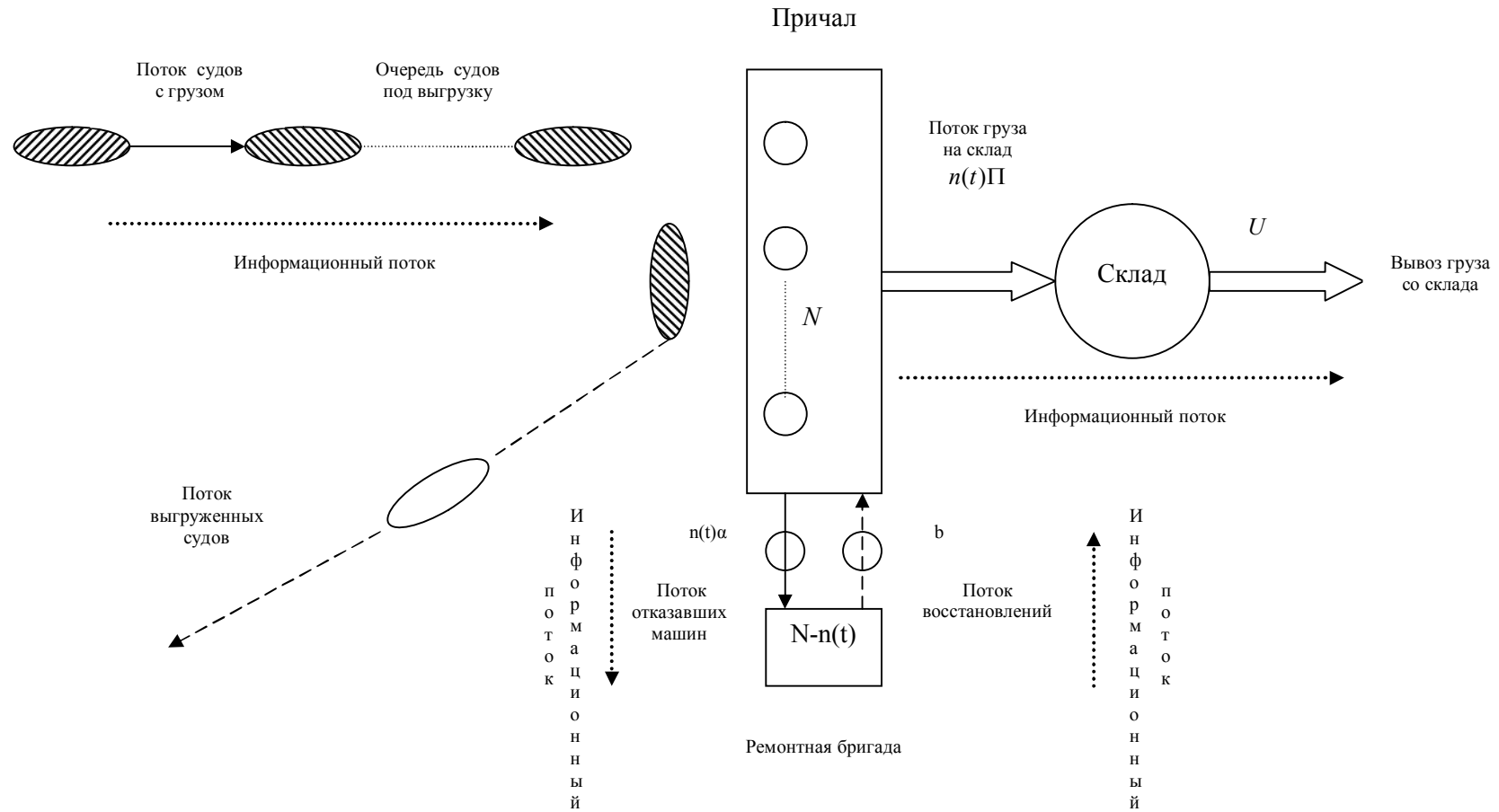


Рис. Структурная схема ТСС с ненадежными технологическими линиями

Пусть m – целое число, определяемое условием

$$m\Pi_1 \leq U < (m+1)\Pi_1,$$

причем $m=0, 1, \dots, N-1$. Введем следующее разбиение множества S :

$$S = S^+ \cup S^- \cup S^0,$$

где

$$\begin{aligned} S^+ &= \{(k, i) : V_i < 0, k = 1, 2, \dots; i = 0, 1, \dots, m\} \cup \\ &\quad \{(0, i) : i = 1, 2, \dots, N\}, \\ S^0 &= \begin{cases} (k, m) : k = 1, 2, \dots, & \text{если } m = U/\Pi_1 \\ \emptyset, & \text{если } m < U/\Pi_1 \end{cases} \\ e(k) &= 1, \quad \text{если } k > 0, e(0) = 0; V_i = i\Pi_1 - U. \end{aligned}$$

Обозначим

$$\begin{aligned} q_{ki}(x) &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\nu(t) = k, n(t) = i, x < \xi(t) < x + dx\} / dx \\ &\quad (k, i) \in S, x \geq 0, \\ P_{ki}^- &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\nu(t) = k, n(t) = i, \xi(t) = 0\}, \\ &\quad (k, i) \in S^- \cup S^0. \end{aligned}$$

Для нахождения функций $q_{ki}(x)$ и постоянных P_{ki}^- можно вывести систему обыкновенных дифференциальных уравнений и граничных условий методом, изложенным в [7]. Эта система имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} Uq'_{oi}(x) &= -[\lambda + (N-i)i]q_{oi}(x) + i\mu q_{li}(x) + \\ &\quad + b(N-i+1)q_{o,i-1}(x), \\ x > 0, \quad i &= 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_i q'_{ki}(x) &= [\lambda + i(\mu + a) + be(N-i)]q_{ki}(x) + \\ &\quad + \lambda q_{k-1,i}(x) + a(i+1)e(N-i)q_{k,i+1}(x) + \\ &\quad + be(i)q_{k,i-1}(x) + i\mu q_{k+1,i}(x), \quad x > 0, \\ k &= 1, 2, \dots; \quad i = 0, 1, \dots, N; \end{aligned} \quad (2)$$

$$(i\Pi_1 - U)q_{1,i}(0) = \lambda P_{oi}^-, i = m+1, m+2, \dots, N \quad (3)$$

$$[(m+1)\Pi - U]q_{k,m+1}(0) = bP_{km}^-, k = 1, 2, \dots \quad (4)$$

$$\begin{aligned} -Uq_{oi}(0) &= -(\lambda + b)P_{oi}^- + be(i-1)P_{o,i-1}^- + \\ &\quad + i\mu P_{li}^-, \quad i = 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} -Uq_{oi}(0) &= -[\lambda + be(N-i)]P_{oi}^- + bP_{o,i-1}^-, \\ i &= m+1, m+2, \dots, N \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} [e(k)i\Pi - U]q_{ki}(0) = & -[\lambda + i\mu + iae(k) + be(n-i)]P_{ki}^- + \\ & + \lambda P_{k-1,i}^- + i\mu P_{k+1,i}^- + be(i)P_{k,i-1}^-, \\ k = 1, 2, \dots; \quad i = 0, 1, \dots, m; \quad k+i > 1. \end{aligned} \quad (7)$$

где $\mu = \Pi_1 / g$.

Условие нормировки для системы (2)-(7) имеет вид

$$\sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^N P_{ki}^- + \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^N \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx = 1 \quad (8)$$

$$k+i > 0 \qquad k+i > 0$$

Обсуждение результатов нахождения вероятностных показателей производственного процесса стивидорной компании. Определение условий организации информационного обеспечения в производственной среде стивидорной компании создает возможность использования наукоемких методик прогнозирования и управления производственным процессом с помощью методов математической теории надежности, на основе статистической обработки информации. Предложенный выше метод оценки вероятности работоспособного состояния производственного процесса при складском варианте работ учитывает переменный режим использования перегрузочного оборудования, определяемый неравномерностью прибытия транспортных средств под обработку.

С помощью решения граничной задачи (1)-(8) можно найти ряд основных показателей эффективности работы терминала стивидорной компании и условие его устойчивой работы в частности:

1) вероятность работоспособного состояния терминала в произвольный момент времени

$$P_{paб} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^{\infty} q_{ko}(x) dx - \sum_{k=1}^{\infty} P_{ko}^-; \quad (9)$$

2) среднее число работоспособных линий в произвольный момент времени

$$\bar{N} = \lim_{t \rightarrow \infty} Mn(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=1}^N i \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^m iP_{ki}^- + \sum_{i=1}^N iP_{oi}^-; \quad (10)$$

3) среднее число судов, находящихся на терминале

$$\bar{L} = \lim_{t \rightarrow \infty} Mv(t) = \sum_{k=1}^{\infty} k \sum_{i=0}^N \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=0}^m P_{ki}^-; \quad (11)$$

4) условие существования установившегося режима работы терминала

$$\sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^N (i\Pi_1 - U) \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=0}^m (i\Pi - U) P_{ki}^- - U \sum_{i=1}^N iP_{oi}^- < 0. \quad (12)$$

Выводы. В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Проведен анализ формирования информационных потоков производственного процесса стивидорной компании, который позволил определить основу формирования информационных потоков и условия, их характеризующие. Для этого рассмотрены две необходимые составляющие: качество информации, техническое и технологическое сопровождение. Обозначено влияние информационных потоков на возможность проведения оценки работоспособного состояния производственного процесса. При этом показана возможность прогнозирования и управления производственным процессом с помощью наукоемких методик на основе информационных потоков.

2. Сформулирована и решена задача представления терминала стивидорной компании в виде многоканальной системы массового обслуживания (СМО) специального вида с ненадежными каналами.

3. Используя систему уравнений, можно найти ряд следующих основных показателей эффективности работы терминала стивидорной компании и условие его устойчивой работы: вероятность работоспособного состояния терминала в произвольный момент времени; среднее число работоспособных линий в произвольный момент времени; среднее число судов, находящихся на терминале; условие существования установившегося режима работы терминала.

4. Практическое применение предложенной вероятностной модели возможно в реальной производственной деятельности стивидорной компании для более эффективного управления производственным процессом и прогнозирования его работоспособного состояния.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Надежность технических систем: Справочник* / Ю.К.Беляев, В.А.Богатырев, В.В.Болотин и др.; Под ред. И.А.Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. *Математические методы в теории надежности*. – М.: Наука, 1965.
3. Воевудский Е. Н. *Стохастические модели в проектировании и управлении деятельностью портов* [Текст] / Е.Н. Воевудский, М.Я. Постан. – М.: Транспорт, 1987. – 318 с.
4. Постан М.Я., Корниец Т.Е., Москалюк Л.В. *Разработка метода оценки риска дополнительного простоя судна под грузовыми операциями из-за ограниченной надежности перегрузочных машин* / М.Я. Постан, Т.Е. Корниец, Л.В. Москалюк // *Технологический аудит и резервы производства: междунар. научн. журнал*. – Харьков, 2014. – № 5/2 (19). – С. 69-75.
5. Гнеденко Б.В. *Введение в теорию массового обслуживания*. – 3-е изд., испр. и доп. [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: КомКнига, 2005. – 400 с.

6. Постан М.Я. Многоканальная обслуживающая система с постоянным временем обслуживания в случайной среде [Текст] / М.Я. Постан // *Економічна кібернетика*. – 2006. – № 3-4 (39-49). – С. 62-68.
7. Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок / М.Я. Постан. – Одесса: Астропринт, 2006. – 376 с.
8. Башарин Г.П. Матричный метод нахождения стационарного распределения для некоторых нестандартных систем массового обслуживания / Г.П. Башарин, А.И. Громов // *Автоматика и телемеханика*. – 1978. – № 1. – С. 29-38.
9. Mennis E., Platis A., Lagoudis I., & Nikitakos N. (2008). Improving port container terminal efficiency with the use of Markov theory // *Maritime Economics & Logistics*. – 2008. – 10(3). – P. 243-257.
10. Корниец Т.Е. Оценка вероятности простоя транспортных средств при изменяющихся условиях портового производственного процесса / Т.Е.Корниец // *Технологический аудит и резервы производства: междунар. научн. журнал* – Харьков: 2015. – № 5/5 (25). – С. 61-69.
11. Legato P., Mazza R.M. Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation // *European Journal of Operational Research*. – 2001. – Vol. 133. – Issue 3. – P. 537-547.
12. Kia M., Shayan E. & Ghotb F. Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation // *Computer & Industrial Engineering*. – 2002. – Vol. 42. – Issues 204. – P. 533-540.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2016

Рецензент – доктор економічних наук, професор, академік ТАУ і Міжнародної академії наук екології, безпеки людини та природи, член Американського математичного товариства, завідувач кафедри «Менеджмент, маркетинг і логістика» Одеського національного морського університету **М.Я. Постан**