

УДК 656.615.003:656.615.073.2.01

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВ В ПОРТУ ПРИ ПОМОЩИ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА

М.А. Малаксиано

*Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина*

*Малаксиано М.О. Моделирование обслуживания судов в порту за помощью многослойного перцептрона.*

Запропоновано методику знаходження показників обслуговування суден в порту на основі використання апарату нейронних мереж. Ця методика дозволила апроксимувати складний функціональний зв'язок між показниками що оцінюються та визначальними факторами за допомогою більш простих математичних функцій, що зручно для виконання розрахунків з заданим рівнем точності.

*Ключові слова:* стоянка суден у порту, регресійний аналіз, нейронна мережа, чотиришаровий перцептрон

*Малаксиано М.А. Моделирование обслуживания судов в порту при помощи многослойного перцептрона.*

Предложена методика нахождения показателей обслуживания судов в порту на основе использования аппарата нейронных сетей. Данная методика позволила аппроксимировать сложную функциональную связь между оцениваемым показателем и определяющими его факторами, более простыми математическими функциями, удобными для выполнения расчетов с заданным уровнем точности.

*Ключевые слова:* стоянка судов в порту, регрессионный анализ, нейронная сеть, четырехслойный перцептрон

*Malaksiano M.O. The port vessels service modeling via multi-layer perceptron.*

The neural network based technique is used for analysis of vessels port service indicators. This technique allows to approximate complex relationships between indicators under consideration and influencing factors by simple mathematical formulae, which is convenient for evaluations with the given level of precision.

*Keywords:* duration of the ship stay in the port, regression analysis, neural network, four-layer perceptron

**К**абинет Министров Украины 11 июля 2013 г. одобрил проект распоряжения «Об утверждении Стратегии развития морских портов Украины на период до 2038 года», которая позволит значительно увеличить перевалку грузов в украинских портах. Данная стратегия разработана в соответствии с Законом «О морских портах Украины», принятым 17 мая 2012 года. Согласно стратегии, одной из основных целей развития морских портов является обеспечение комплексного развития и повышения конкурентоспособности портовой отрасли. Стратегия будет осуществляться за счет средств инвесторов, целевых кредитов банков, субъектов хозяйствования независимо от форм собственности, а также за средства государственного предприятия «Администрация морских портов Украины», железных дорог и предприятий железнодорожного транспорта. При инвестировании средств в перегрузочное оборудование морских портов, а также при решении многих других задач, связанных с развитием и эксплуатацией портов, возникает необходимость оценки влияния принятого инвестиционного решения на результаты обслуживания судов в порту.

### **Анализ последних исследований и публикаций, а также выделение нерешенных частей общей проблемы**

Для нахождения продолжительности стоянки и других показателей, характеризующих качество обслуживания судов в порту, широкое распространение получила теория массового обслуживания, которая позволяет учитывать вероятностный характер протекания транспортного процесса. При помощи методов этой теории в ряде работ [1, 2] исследованы некоторые вопросы влияния на показатели обслуживания судов и вагонов в порту таких факторов как: структура входящего и выходящего потока транспортных средств; дисциплина обслуживания транспортных средств; емкость, количество и организация работы складов в порту; пропускная способность обслуживающих каналов (грузовых фронтов); число укрупненных комплексных бригад портовых рабочих, занятых на погрузочно-разгрузочных работах; число рабочих, занятых ремонтом оборудования. Методы этой теории позволяют также решать задачи по оптимальному распределению транспортных потоков среди заданного множества

перевалочных пунктов и пунктов назначения и многие другие задачи.

В работе [3] предложена математическая модель и алгоритмы расчетов для нахождения продолжительности стоянки и других показателей обслуживания судов на производственном перегрузочном комплексе порта с однородным парком оборудования из стационарных или мобильных машин. Как правило, производственный перегрузочный комплекс порта состоит из нескольких специализаций со своим перегрузочным оборудованием и системой управления. Например, в Ильичевском порту в комплекс входит до 5 причалов, в Одесском – до 4 причалов. Благодаря одной специализации причалов и общему управлению производственным процессом в такой системе очень развиты взаимопомощь и взаимозаменяемость технических и трудовых ресурсов, что существенно влияет на ее эффективность. Изменение какого-то одного параметра такой системы (например, состава машин на отдельном грузовом фронте или емкости отдельного склада и др.) влияет на результаты работы всей системы. Поэтому эффективность решения по замене перегрузочного оборудования в порту следует оценивать не по отдельному причалу или грузовому фронту, на котором оно будет непосредственно эксплуатироваться, а в составе всей системы причалов, образующих производственный перегрузочный комплекс порта. Для стационарного оборудования была использована общая модель Марковских цепей, для мобильного – модель процесса «гибели-размножения», в них учтены такие особенности производственного процесса морских портов как районная система организации погрузочно-разгрузочных работ, развитая взаимопомощь и взаимозаменяемость ресурсов. Показано, что при однородном парке машин, состоящем из одинакового числа стационарных или мобильных машин одной производительности, продолжительность обслуживания судов будет меньше при использовании машин второго типа, а по мере насыщения парка уменьшаются преимущества мобильного оборудования в сравнении со стационарным и при полном его насыщении оба типа машин дают одинаковые результаты.

В работе [4] предложена математическая модель и алгоритмы расчетов для нахождения продолжительности стоянки и других показателей обслуживания судов на производственном перегрузочном комплексе порта со смешанным (разнотипным) парком оборудования, в котором есть как стационарные, так и мобильные машины различной производительности. Она представляет собой общую модель Марковских цепей и является усовершенствованием и обобщением модели, предложенной для комплекса с однородным парком, и позволяет исследовать изменение анализируемых показателей в зависимости от структуры парка комплекса, степени его загрузки,

производительности оборудования, дисциплины обслуживания судов, параметров причалов и др. Предложенный подход может быть распространен на комплексы с любым числом причалов и любой конфигурацией причальной линии. Для выполнения таких многовариантных и трудоемких расчетов разработана программа для ЭВМ в среде MAPLE 10. Показано, что в ненасыщенном парке разнотипного оборудования и большей производительности стационарных машин наименьшая продолжительность стоянки судов будет при определенном сочетании мобильных и стационарных машин, а доля каждого типа зависит от параметров комплекса, производительности оборудования и общей численности парка. Такой результат можно объяснить тем, что мобильные машины обладают возможностью оказания взаимопомощи. Предложенная методика позволяет выявить такие сочетания и дать им количественную оценку.

Математическая модель, предложенная в [4], описывает процесс обслуживания судов в порту в виде системы дифференциальных уравнений. Она достаточно полно и адекватно отражает основные закономерности этого процесса и реализована на ЭВМ, благодаря чему может быть использована при решении широкого круга задач, в ходе которых возникает необходимость оценки продолжительности стоянки и других показателей обслуживания судов в порту. Однако значительным недостатком этой модели является ее вычислительная сложность. Для ее практического использования необходимы мощная быстродействующая ЭВМ и сложное высокотехнологичное программное обеспечение, реализующее современные численные методы, и даже при этом расчеты занимают значительное время.

*Цель* данной работы – разработка упрощенной методики оценки продолжительности стоянки и других показателей обслуживания судов в порту, удобной для практических расчетов. Такая методика позволит аппроксимировать сложную функциональную связь между оцениваемым показателем и определяющими его факторами, описываемую моделью [4], более простыми математическими функциями, удобными для выполнения расчетов с заданным уровнем точности.

Обоснование таких функций предлагается выполнять в следующей последовательности:

- при помощи математической модели, предложенной в [4], рассчитывается множество значений изучаемого показателя при различных значениях независимых переменных (факторов) для терминала с данными параметрами (числом причалов, конфигурацией причальной линии, характеристиками обслуживаемых транспортных средств и др.);
- при помощи одного из известных методов аппроксимации для полученной выборки рассчитывается математическая модель, адекватно описывающая связь между оцениваемым показателем и факторами.

**Изложение основного материала исследования**

В качестве показателя, характеризующего обслуживание судов на данном терминале, может быть принята, например, продолжительность обслуживания судов ( $t_{cm}$ ). В качестве независимых переменных модели приняты: количество мобильных машин –  $m$ , количество стационарных машин –  $n$ , производительность мобильной машины –  $P_m$ , производительность стационарной машины –  $P_c$  и годовая загрузка терминала –  $Q$ . Перебирая с определенным шагом значениями величин  $m$ ,  $n$ ,  $P_m$ ,  $P_c$ ,  $Q$ , и, рассчитывая для каждого их сочетания  $t_{cm}$  по методике [4], можно получить выборку, необходимую для дальнейшего нахождения аппроксимирующих моделей.

Предложенным способом была сгенерирована выборка из 4900 наблюдений для терминала из четырех причалов с ломанной линией причаль-

ного фронта, оснащенных стационарным и мобильным оборудованием. Максимальное число судов в очереди на рейде было принято равным 5, средняя загрузка судна 15000 т, верхняя граница концентрации технологических линий на судне 4 установки. О трудоемкости выполненных вычислений свидетельствует тот факт, что их продолжительность на ЭВМ составила около 24 часов.

Традиционным методом нахождения аналитических зависимостей по данным статистических наблюдений, получившим широкое распространение в экономико-математических исследованиях на транспорте, является метод регрессионного анализа. Разработка адекватной регрессионной модели предполагает обязательное рассмотрение альтернативных типов такой модели и последующий выбор наилучшей модели [5]. Так, для выборки, полученной описанным выше способом, были рассмотрены четыре типа модели (формы зависимости):

$$t_{cm} = C_1 \cdot N_c + C_2 \cdot N_m + C_3 \cdot P_c + C_4 \cdot P_m + C_5 \cdot Q_2 + C_0 - \text{полиномиальная первого порядка;}$$

$$t_{cm} = C_0 \cdot (N_c + 1)^{C_1} \cdot (N_m + 1)^{C_2} \cdot P_c^{C_3} \cdot P_m^{C_4} \cdot Q_2^{C_5} - \text{мультипликативная;}$$

$$t_{cm} = \frac{1}{C_1 \cdot N_c + C_2 \cdot N_m + C_3 \cdot P_c + C_4 \cdot P_m + C_5 \cdot Q_2 + C_0} - \text{обратная;}$$

$$t_{cm} = \frac{1}{1 + \exp(C_1 \cdot N_c + C_2 \cdot N_m + C_3 \cdot P_c + C_4 \cdot P_m + C_5 \cdot Q_2 + C_0)} - \text{сложная экспоненциальная.}$$

Расчеты выполнялись при помощи программы «Нелинейный регрессионный анализ» пакета «STATISTICA» (STATSOFT). Адекватность модели оценивалась по известным статистическим критериям [5]. Расчеты показали, что оценки

продолжительности стоянки судов, полученные по полиномиальной модели первого порядка значительно более точны, чем по остальным моделям. Эта модель имеет следующий вид:

$$t_{cm} = 2,917m + 3,548n + 0,342P_m + 0,230P_c + 3,297Q + 130,149 \tag{1}$$

Второе место по степени точности занимает мультипликативная модель. Остальные модели страдают неадекватностью. Однако следует отметить, что даже лучшая из рассмотренных моделей весьма далека от совершенства, так как для нее  $ESD = 7,016$  часа,  $SDR = 0,29713$  и  $R^2 = 0,8383$ .

Невысокая точность регрессионной модели (1) объясняется тем, что оцениваемый показатель  $t_{cm}$  меняет характер зависимости от своих аргументов на различных участках области их изменения.

Сравнительно новым методом аппроксимации сложных функций, не получившим пока распространения при решении задач морского транспорта, является использование моделей, реализованных в виде нейронных сетей [6,7,8]. Теория нейронных сетей зародилась в сороковых годах прошлого столетия для моделирования

работы человеческого мозга. Вскоре были построены нейросистемы для распознавания речи и изображений, для задач классификации в биологии и диагностики в медицине, для краткосрочных предсказаний. В настоящее время использование нейронных сетей с целью подготовки принятия решений в финансовой сфере называют оружием финансиста и относят к инновационным подходам к повышению эффективности финансовой деятельности современных компаний.

Попытаемся теперь решить рассматриваемую в данной работе задачу при помощи аппарата нейронных сетей класса многослойный перцептрон, применяемого для задач такого типа [6]. Многослойные перцептроны можно интерпретировать как модель вход-выход, в которой синаптические веса и пороги являются свободными параметрами модели. Такая сеть

может моделировать функцию практически любой степени сложности, причем число слоев и число элементов в каждом слое определяют сложность функции. Вопрос выяснения оптимальной топологии нейронной сети решается перебором для каждой конкретной задачи. Число слоев и число элементов в каждом из них, значения весов и порогов сети подбирается так, чтобы минимизировать ошибку прогноза, выдаваемого сетью. Для этого служат алгоритмы обучения. Главным достоинством нейронных сетей является их способность обучаться. Наиболее часто для этого используется алгоритм обратного распространения, представляющего обобщенный метод наименьших квадратов. Для построения быстрой нейронной сети, достаточно точно воспроизводящей неизвестную функцию, в рассматриваемой задаче использовался пакет ST Neural Networks. В нем реализован специальный алгоритм автоматического поиска – автоматический конструктор сети, который проводит эксперименты с каждым вариантом структуры сети, выполняет несколько прогонов обучения и отбирает наилучшую сеть по показателю контрольной ошибки. С его помощью можно перепробовать сотни различных сетей, выделяя из них особо перспективные, либо быстро находить «грубое и простое» решение.

В результате перебора нейронных сетей различной архитектуры было установлено, что для

оценки продолжительности стоянки судна в порту наилучшим с позиций достаточной точности и простоты является четырехслойный персептрон (5/18/6/1) с 5 входными сигналами (независимыми переменными) на первом слое, 18 нейронами на втором слое, 6 на третьем и 1 на четвертом (рис. 1). Значения синаптических весов нейронов и порогов активации полученной сети представлены в табл. 1 – 3. Для их уточнения потребовалось 320 итераций методом сопряженных коэффициентов. Для устранения эффекта переобучения искомой нейронной сети исходное множество из 4900 наблюдений случайным образом было разбито на три подмножества: обучающее, состоящее из 2450 наблюдений, контрольное – из 1225 наблюдений и тестовое – из 1225 наблюдений.

Критерии адекватности полученной модели, аппроксимирующей искомую функцию при помощи четырехслойного персептрона, соответственно равны  $ESD = 1,333792$  часа,  $SDR = 0,106665$  и  $R^2 = 0,994319$  (табл. 4). Они свидетельствуют об очень высоком качестве последней модели. Заметим, что ценой усложнения структуры нейронной сети можно было бы достичь сколь угодно хороших результатов приближения. Однако для нашей задачи полученной точности вполне достаточно.

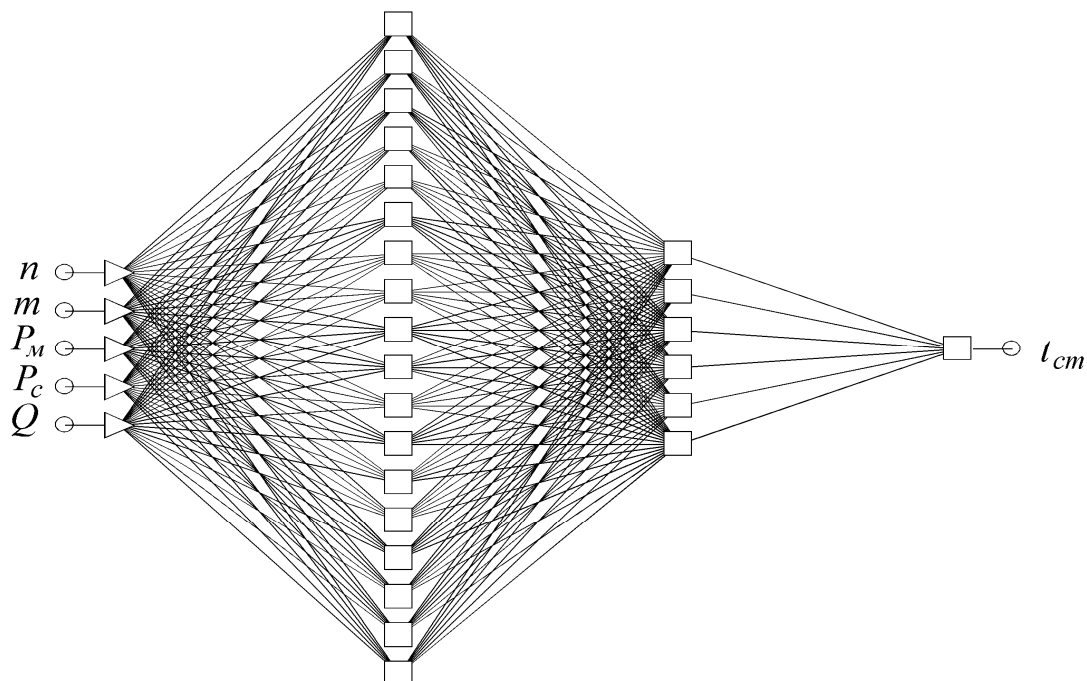


Рис. 1. Структура четырехслойного персептрона (5/18/6/1) для оценки продолжительности стоянки судов в порту

Таблица 1. Синаптические веса и пороги активации для нейронов второго слоя

Номер нейрона второго слоя	Синаптические веса от входных сигналов (независимых переменных)					Порог активации
	$n$	$m$	$P_m$	$P_c$	$Q$	
1	0,445945	2,02943	-0,4661	0,574059	-0,02185	0,03409
2	-1,37269	0,765238	1,204432	-1,21998	-0,4743	-1,73397
3	0,178432	-1,94775	0,624091	0,09967	-0,7876	0,664978
4	0,164016	1,076994	0,387914	1,203319	-0,4029	-0,681
5	-0,6189	-0,7163	-0,2806	-0,3785	-0,2593	0,100122
6	-0,6307	-0,6807	-0,69561	-0,07393	0,115455	-0,4903
7	0,412867	1,591241	0,626175	-0,375	-0,7753	0,862003
8	4,388488	0,688423	0,994789	-0,4798	-0,6075	-1,07957
9	0,79455	-0,5642	0,890602	0,397379	0,859832	-0,8702
10	-2,60314	-1,30266	-0,6424	0,556426	-0,06224	0,60491
11	-2,59934	-0,1859	-1,1024	0,227878	0,564664	1,039422
12	-1,44017	-3,51484	0,320029	-0,4787	0,01841	-0,1311
13	0,286115	0,02229	-0,3907	-0,151	-0,1548	0,416451
14	-1,66921	-2,37547	0,805591	0,291511	0,154308	0,199677
15	1,588989	1,000581	0,695685	0,318004	-0,5279	0,353732
16	0,272206	0,99678	0,34088	0,639917	0,729725	0,155693
17	0,217367	-0,8444	-0,735	1,460337	0,687102	-0,974
18	-0,7147	0,001241	-0,8267	0,05273	-0,08345	0,242961

Таблица 2. Синаптические веса и пороги активации для нейронов третьего слоя

Номер нейрона второго слоя	Синаптические веса					
	Номер нейрона третьего слоя					
	1	2	3	4	5	6
1	-0,5242	0,584889	0,15751	-1,88885	-0,09857	0,895065
2	-0,6967	-0,8	-0,1262	1,727617	0,257702	-0,2598
3	0,939074	1,146626	-0,6483	1,309477	-0,2251	0,388233
4	0,074282	1,103166	-0,6216	-0,94	-0,2684	1,151427
5	0,354398	0,266272	-0,7675	0,825403	0,03828	0,758689
6	-0,6902	0,105437	-0,5621	0,689317	0,912855	0,969866
7	-0,4323	-0,6478	1,073407	-1,37159	-0,81666	-0,4868
8	-0,20754	-0,3931	0,67012	-3,69846	1,160106	-0,132
9	0,592227	0,399509	0,05083	0,206913	0,08903	0,328725
10	0,467438	-0,4584	0,00902	2,609711	0,943533	-0,4458
11	-0,0936	-0,966	0,408483	2,147329	0,840269	-0,4909
12	0,262781	0,832262	0,648978	3,311061	0,000317	-0,3144
13	-0,02654	-0,401	1,124258	-0,3964	-0,443	0,068587
14	0,433685	1,209415	0,779497	2,383552	-0,0956	-0,2647
15	1,12473	-0,568	1,114993	-1,95823	1,156467	-0,2462
16	-0,8338	0,489853	0,390588	-0,7566	0,641353	0,136675
17	0,77781	-0,5638	1,044039	1,044775	-0,29473	1,027594
18	-0,4072	-0,8162	-0,2253	0,497466	-0,5936	0,649577
Порог активации	-0,3748	-0,8853	0,03649	0,54993	-0,6719	-1,26284

Таблица 3. Синаптические веса и пороги активации для нейронов четвертого слоя

Номер нейрона четвертого слоя	Синаптические веса						Порог активации
	Номер нейрона третьего слоя						
	1	2	3	4	5	6	
1	0,04109	-0,717	-0,5017	4,098787	-0,07656	0,144104	-0,9608

Таблица 4. Оценка адекватности нейронной сети класса многослойный персептрон 5/18/6/1 для нахождения продолжительности стоянки судов в порту

Критерии адекватности модели	Для обучающего множества	Для контрольного множества	Для тестового множества
стандартное отклонение наблюдаемых значений	12,50449	12,56084	13,87752
средняя ошибка	-0,02134	0,02246	0,035
стандартное отклонение ошибки ( <i>ESD</i> )	1,333792	1,337679	1,344564
средняя абсолютная ошибка	0,977052	0,983464	0,981739
отношение стандартных отклонений ошибки и наблюдаемых значений ( <i>SDR</i> )	0,106665	0,106496	0,09689
коэффициент множественной корреляции ( $R^2$ )	0,994319	0,994338	0,995329

**Выводы**

Таким образом, выполненное исследование показало, что использование аппарата нейронных сетей для оценки продолжительности стоянки судов в порту оказалось намного более успешным, чем применение метода регрессионного анализа. Поэтому для получения быстрых и достаточно точных значений этого показателя целесообразно пользоваться нейронной сетью класса четырех-слойный персептрон 5/18/6/1, а не регрессионной моделью (1).

Полученные зависимости могут быть использованы при решении многих задач, связанных с проектированием и планированием работы производственных перегрузочных комплексов порта. Для примера рассмотрим следующую задачу: пусть заданы  $Q_0$  (в определенных пределах),  $P_{c0}$  и  $P_{m0}$ , требуется найти все наборы

пар  $(N_m, N_c)$  для которых  $t_{cm}$  не превышает определенного уровня. Для этого достаточно в построенной ранее функции  $t_{cm} = F(m, n, P_m, P_c, Q)$  зафиксировать все переменные, кроме  $m$  и  $n$ , и в полученной функции двух переменных найти линию уровня  $t_{cm0} = F(m, n, P_{m0}, P_{c0}, Q_0)$ . Эта линия уровня является границей множества искомых точек  $(m, n)$  с целочисленными координатами.

Предложенный метод оценки продолжительности стоянки судов в порту можно использовать также для нахождения таких показателей обслуживания как вероятность отказа, среднее число судов на терминале с учетом рейда, среднее время ожидания на рейде, среднее время грузовой обработки и др.

**Список литературы:**

1. Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок [Текст] : монография / М.Я. Постан; Одесский нац. морской ун-т. – Одесса : Астропринт, 2006. – 376 с.
2. Зильдман В.Я. Влияние резервов складских емкостей на простой транспортных средств в порту при отсутствии оперативного регулирования потока грузов [Текст] / В.Я. Зильдман, Г.В. Поддубный // Экономика и математические методы. – 1976. – Том 9, № 6. – С. 1094 – 1106.
3. Малаксиано М.О. Оцінка впливу напрямків технічного оснащення порту на якість обслуговування транспортних засобів [Текст] / М.О. Малаксиано // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – Одеса: ОНМУ, 2006. – № 11. – С. 64-82.

4. Малаксіано М.О. Оцінка тривалості обслуговування суден на терміналі з різнотипним устаткуванням [Текст] / М.О. Малаксіано // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем*. Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – № 14 – С. 108-124.
5. Дрейпер Н.Р. Прикладной регрессионный анализ [Текст] : переводное издание / Н.Р. Дрейпер, Г. Смит ; [пер. с англ. и ред.: М. Власенко и др.]. – 3-е изд. – М. [и др.] : Диалектика, 2007. – 911 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети : полн. курс: [пер. с англ.] / Саймон Хайкин. – 2-е изд. – М. [и др.] : Вильямс, 2006. – 1103 с.
7. Малаксіано М.О. Оцінка тривалості стоянки суден в порту за допомогою нейронних мереж [Текст] / М.О. Малаксіано // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ-Одеса-2013)*, 8 – 10 жовт. 2013 р., Одеса / відп. ред. В.В. Вичужанін; Одеський нац. морськ. ун-тет, Волзька державна академія водного транспорту [та ін.] – Одеса: «Видавінформ» ОНМА, 2013. – С. 350-352.
8. Водник Д. Автоматизация кредитного скоринга на основе нейросетевого моделирования [Текст] / Д. Водник, А. Комаров, В. Чванова // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ-Одеса-2013)*, 8 – 10 жовт. 2013 р., Одеса / відп. ред. В.В. Вичужанін; Одеський нац. морськ. ун-тет, Волзька державна академія водного транспорту [та ін.] – Одеса: «Видавінформ» ОНМА, 2013. – С. 358 – 360.

Надано до редакції 29.07.2013

Малаксіано Марія Олександрівна / Mariya O. Malaksiano  
*marmala@ukr.net*

**Посилання на статтю / Reference a Journal Article:**

*Моделирование обслуживания судов в порту при помощи многослойного перцептрона [Електронний ресурс] / М.А. Малаксіано // *Економіка: реалії часу*. Науковий журнал. – 2013. – № 3 (8). – С. 202-208. – Режим доступу до журн.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2013/n3.html>*