

УДК 621.875

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ВЕСОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

**В.В. Суглобов, проф., д.т.н., Е.В. Ткачук, ассист., В.А. Михеев, доц.,
Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь**

Аннотация. Рассматриваются вопросы автоматизированного проектирования шарнирно-сочленённой стреловой системы портального крана; предложены практические рекомендации по определению входных весовых данных для программы совместного автоматизированного синтеза и расчёта стреловой системы и системы уравновешивания.

Ключевые слова: входные данные, стреловая система, синтез, автоматизированное проектирование, вес, портальный кран.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ВАГОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СТРЕЛОВОЇ СИСТЕМИ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

**В.В. Суглобов, проф., д.т.н., К.В. Ткачук, асист., В.А. Міхєєв, доц.,
Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь**

Анотація. Розглядаються питання автоматизованого проектування шарнірно-з'єднаної стрілової системи портального крана; запропоновано практичні рекомендації з визначення вихідних вагових даних для програми автоматизованого синтезу та розрахунку стрілової системи та системи зрівноважування.

Ключові слова: вхідні дані, стрілова система, синтез, автоматизоване проектування, вага, портальний кран.

A CALCULATING TECHNIQUE FOR DETERMINING WEIGHT INPUT DATA TO DESIGN BOOM SYSTEMS OF OVERHEAD GANTRY CRANES

**V. Suglobov, Prof., Dr., Eng. Sc., K. Tkachuk, Teaching Assistant,
V. Mikheev, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc.,
Pryazovskyi State Technical University, Mariupol**

Abstract. CAD issues have been considered for the articulated boom system of overhead gantry cranes. Practical recommendations as to determining weight input data for software programs of automated synthesis and calculation of boom and counterweight systems have been proposed.

Key words: input data, boom system, synthesis, CAD, weight, overhead gantry crane.

Введение

Морские и речные порты – важная часть транспортно-производственной инфраструктуры Украины. От уровня их технологичности и технического оснащения зависит конкурентоспособность украинского транспортного комплекса на мировом рынке. Одним из основных средств механизации, обеспечивающих производственный процесс в портах,

начиная с разгрузки сырья или полуфабрикатов и заканчивая отгрузкой готовой продукции, являются перегрузочные портальные краны (КПП).

Как показала практика создания и эксплуатации КПП, наиболее совершенной конструкцией является кран с шарнирно-сочленённой четырёхзвенной стреловой системой (ШСС) с прямым хоботом и системой уравнеше-

вания (СУ) в виде противовеса на качающемся рычаге.

Основные технические характеристики и эксплуатационные свойства КПП закладываются, главным образом, на стадии проектирования. Поэтому исследования, направленные на совершенствование процесса проектирования ШСС, разработку автоматизированного расчёта и синтеза, с целью повышения производительности КПП при одновременном снижении их энергоёмкости и металлоёмкости, всегда будут актуальны и востребованы.

В работе представлены материалы по вопросу автоматизированного проектирования ШСС, связанные с использованием программного обеспечения для определения весовых данных стреловой системы.

Анализ публикаций

На стадии проектирования КПП решается задача общей компоновки крана, разработки кинематических схем ШСС и СУ, определения размеров и веса их звеньев. Для решения этой задачи учёными: Б.Е. Горским, М.М. Гохбергом, А.И. Дукельским, В.С. Ловейкиным, В.П. Мисюррой, В.А. Михеевым, П.З. Петуховым, В.И. Стреловым, Л.Г. Серлиным – предлагаются различные подходы, из которых наиболее перспективным и рациональным является автоматизированный синтез ШСС [1]. Однако данный метод не даёт рекомендаций по выбору исходных данных на начальном этапе расчёта и проектирования крана.

В состав исходных данных, необходимых для запуска программы автоматизированного синтеза ШСС, входят геометрические параметры звеньев ШСС и их весовые характеристики [2].

Вопрос определения весовых параметров стальных конструкций коробчатого сечения (балок, стрел, колонн) освещён в ряде работ [3, 4, 5]. Однако в этих работах целевыми функциями являются либо минимально необходимая площадь поперечного сечения F_{\min} , либо высота сечения h , для определения которых требуется предварительно выполнить силовой расчёт всей конструкции крана. Так, в работе [3] для оценки веса бал-

ки m необходимо уже располагать значением F_{\min}

$$m = \rho \cdot \mu \cdot \sum_l F_{\min} dl, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала; μ – коэффициент, учитывающий отклонение от теоретической оптимальной формы; l – длина участка; F_{\min} – минимально необходимая площадь сечения изгибаемой балки при выполнении ограничения по прочности.

В научных трудах [4, 5] даются рекомендации по определению минимально необходимой площади сечения балки F_{\min} и высоты её сечения h

$$F_{\min} = \frac{3N_1 + \sqrt{9N_1 + 384\delta_c + [\sigma] \cdot M_{1x}}}{6[\sigma]}, \quad (2)$$

где N_1 – продольная сила, действующая на балку; M_{1x} – изгибающий момент; δ_c – толщина стенки балки; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала.

$$h = \sqrt{\frac{W_x}{2\delta_c}}, \quad (3)$$

где W_x – момент сопротивления.

Таким образом, предлагаемые в рассмотренных работах методы не позволяют определять вес звеньев ШСС в зависимости от их геометрических длин и номинальной грузоподъёмности крана.

Цель и постановка задачи

В работе рассматривается задача определения весовых параметров стрелы, хобота и оттяжки по геометрическим данным, полученным при автоматизированном синтезе ШСС, чтобы ввести их в качестве исходных данных в программу расчёта СУ.

Цель данной статьи – разработка методики определения исходных весовых данных, позволяющей обеспечить непрерывность процесса автоматизированного проектирования.

Общие положения по формированию исходных весовых данных

Авторами настоящего исследования впервые была поставлена задача совместного синтеза ШСС и СУ в работах [6, 7] и даны предложения по формированию исходных геометрических и весовых данных для запуска программы расчёта этих систем [2, 8].

В представленной работе выполнен анализ факторов, влияющих на вес ШСС; проведена оценка факторов для определения прогнозируемого веса; собран и систематизирован материал о геометрических размерах и весе звеньев ШСС 52 кранов 8 типов (табл. 1).

Установлено, что главным определяющим фактором прогнозирования веса является

номинальная грузоподъёмность Q , полученная из технического задания на проектирование ПК.

Исследование показало, что при одинаковых значениях грузоподъёмности Q и максимального вылета L_{\max} длины звеньев ШСС отличаются (рис. 1).

На основании проведенного анализа авторами предлагается принять длины стрелы, хобота и оттяжки в качестве основных характеристик для определения прогнозируемого веса звеньев ШСС. Значения этих параметров получены из автоматизированного синтеза ШСС с помощью метода расчёта геометрических данных [2, 8].

Таблица 1 Параметры шарнирно-сочленённой стреловой системы порталных кранов

Модель крана	Кол-во кранов	Q , т	L_{\max} , м	L_{\min} , м	L_c , м	G_c , кг	L_x , м	G_x , кг	L_{ot} , м	G_{ot} , кг
Альбатрос	11	20	32	8	26,038	10100	16,22	4650	19,95	2600
					27	10920	16,52	4815		2340
Марк – 25	3	25	36	10	29,44	20300	22	11120	25,08	4090
Сокол	21	32	32	8	26,04	12470	16,2	6370	19,95	2940
Азовец	1		36	9	30,93	22057	17,238	12500	23,83	3820
Кондор	11	40	32	8	27,35	22800	15,5	9580	21,52	3950
Марк – 36	2	36	34	10	29,44	20300	22	11350	25,09	4219
Марк – 45	2	40	45		34,2	26985	27	19190	29,85	5910
Марк – 40	1	40	34		27,2	20000	19,5	14425	22,69	4340

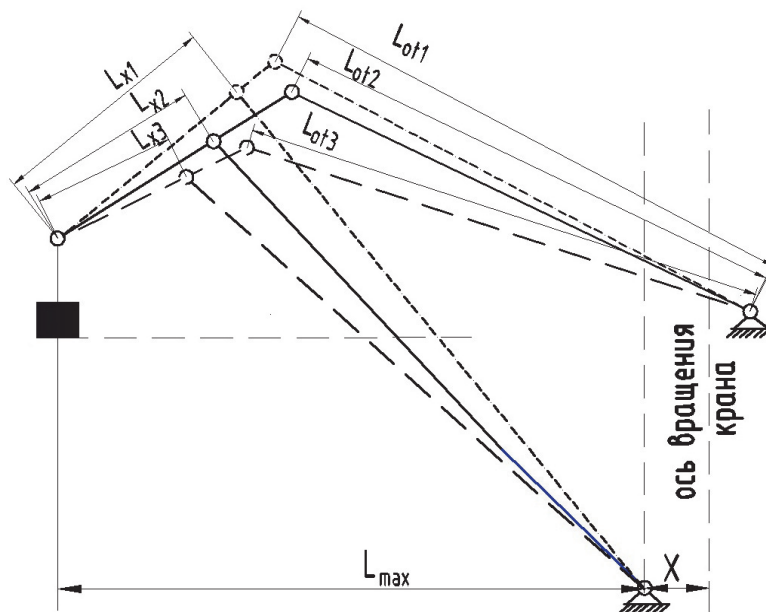


Рис. 1. Варианты структурных схем шарнирно-сочленённой стреловой системы

При анализе статистических данных (табл. 1) выявлено:

1) Определяющие параметры всех кранов равной грузоподъёмности находятся в узком диапазоне:

- минимальный вылет – $L_{\min} = 8-10$ м;
- максимальный вылет – $L_{\max} = 32-36$ м;
- для изготовления элементов ШСС используется листовая сталь толщиной $\delta = 6-8$ м класса прочности 250–325 с допускаемыми напряжениями 180–190–200 МПа;
- конструкции элементов ШСС – коробчатые балки с прямоугольным поперечным сечением;
- режим работы, характер и значения нагрузок, действующих на элементы ШСС при одинаковой грузоподъёмности крана, одинаковы.

2) Узкий диапазон определяющих параметров, однотипность конструкции и геометрической формы элементов ШСС, свойств материалов, характера нагружения кранов позволяют сделать допущение, что у кранов одинаковой грузоподъёмности усреднённый вес одного погонного метра стрелы, хобота, оттяжки будет близким.

На основе обработанных статистических данных исследованных КПП получены значения веса q одного погонного метра (1 п.м) звеньев ШСС (табл. 2) и рассмотрена их взаимосвязь с номинальной грузоподъёмностью крана $q = f(Q)$.

В ходе исследования выявлено, что экспериментально установленные значения усреднённого веса 1 п.м каждого элемента ШСС в зависимости от грузоподъёмности могут

быть описаны разными аналитическими функциями.

Таблица 2 Вес 1 п.м элементов ШСС

Тип крана	Q , т	Вес 1 п.м элементов ШСС, кг		
		стрела	хобот	оттяжка
Альбатрос	20	388	287	130
		404	291	117
Марк-25	25	689	505	163
Сокол Азовец	32	479	393	147
		713	725	160
Марк-36	36	689	515	168
Кондор Марк-40 Марк-45	40	834	618	183
		789	710	198
		735	740	191

Поиск функции, максимально приближенной к экспериментальным данным, осуществлён посредством программы MS Excel методом наименьших квадратов. Используя данный метод, функция $q = f(Q)$ была аппроксимирована следующими зависимостями:

– многочленом первой степени

$$q = a_1 + a_2 \cdot Q;$$

– многочленом второй степени:

$$q = a_1 + a_2 \cdot Q + a_3 \cdot Q^2;$$

– экспоненциальной зависимостью:

$$q = a_1 \cdot e^{a_2 \cdot Q};$$

– логарифмической зависимостью:

$$q = a_1 \cdot \ln Q + a_2.$$

Результаты расчётов представлены в табл. 3.

Таблица 3 Результаты аппроксимации функции $q = f(Q)$

Вид аппроксимации	Элементы ШСС		
	Стрела	Хобот	Оттяжка
Линейная	$q = 316,99 + 9,92 \cdot Q$	$q = 93,91 + 13,29 \cdot Q$	$q = 95,24 + 2,066 \cdot Q$
Квадратичная	$q = 247800 - 14690 \cdot Q + 200 \cdot Q^2$	$q = -113,21 + 27,35 \cdot Q - 0,2 \cdot Q^2$	$q = 41,03 + 5,45 \cdot Q - 0,049 \cdot Q^2$
Экспоненциальная	$q = 354,6 \cdot e^{0,0017 \cdot Q}$	$q = 211,66 \cdot e^{0,0027 \cdot Q}$	$q = 105,32 \cdot e^{0,0013 \cdot Q}$
Логарифмическая	$q = -550,73 \cdot \ln Q + 346,1$	$q = -986,03 \cdot \ln Q + 439,94$	$q = -74,68 \cdot \ln Q + 68,97$

Чтобы определить функцию, которая наилучшим образом описывает зависимость между изученными параметрами – q и Q , для каждого вида аппроксимации вычислены коэффициенты детерминации и коэффициент корреляции (табл. 4).

Таблица 4 Значения коэффициентов корреляции и детерминированности

Коэффициент корреляции	Стрела	Хобот	Оттяжка
	0,739	0,918	0,882
Коэффициент детерминированности для линейной аппроксимации	0,547	0,842	0,778
Коэффициент детерминированности для квадрат. аппроксимации	-23878	0,845	0,818
Коэффициент детерминированности для эксп. аппроксимации	0,471	0,776	0,749
Коэффициент детерминированности для логарифм. аппроксимации	1,09	1,148	1,361

Согласно рекомендациям, содержащимся в работах [9, 10], эмпирическая формула наиболее точно отражает экспериментальные данные, если коэффициент детерминированности приближенно равен коэффициенту корреляции и находится в интервале (0–1). С учётом сказанного можно утверждать, что зависимость $q = f(Q)$ для стрелы наилучшим образом описывается линейной функцией, для хобота и оттяжки – квадратичными функциями.

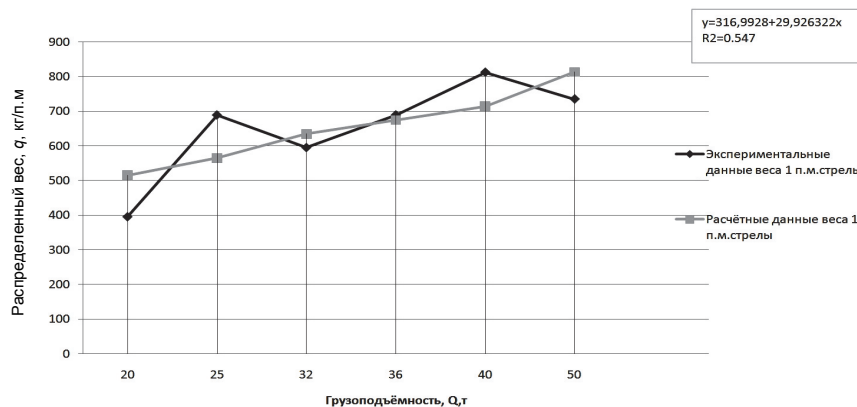


Рис. 2. График зависимости $q = f(Q)$ для стрелы при линейной аппроксимации

Определение усреднённого веса 1 п. м стрелы, хобота и оттяжки возможно при использовании построенных графиков зависимости $q = f(Q)$ (рис. 2–4), что позволяет рассчитать прогнозируемый вес каждого звена ШСС

$$m_c = \mu \cdot S \cdot L \cdot q, \text{ кг}, \quad (4)$$

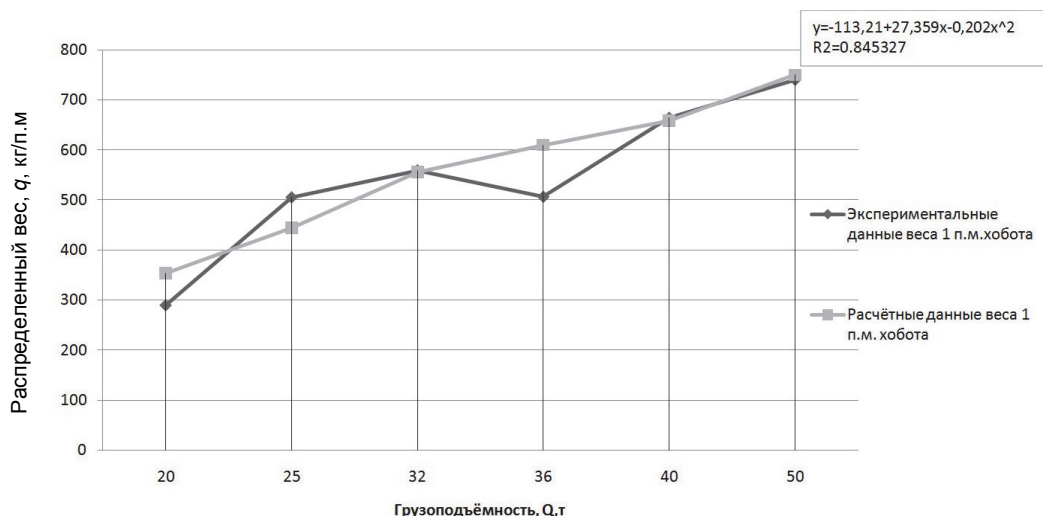
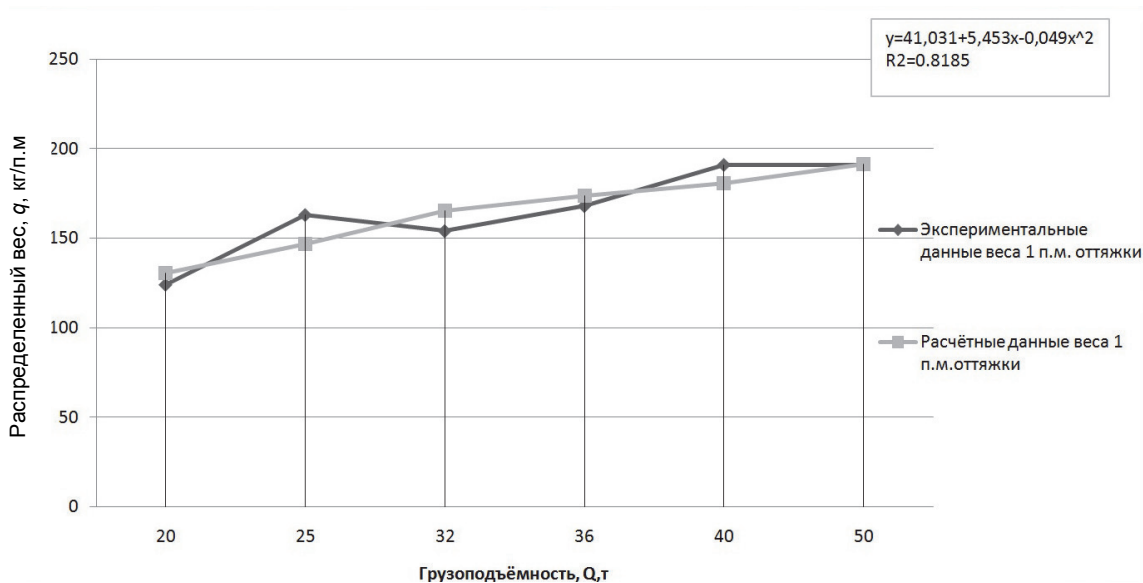
где μ – коэффициент, учитывающий отклонение от теоретической оптимальной формы [3]; S – коэффициент, учитывающий прочность материала [4, 5]; L – длина звена ШСС (определяется по методу, изложенному в [2, 8]); q – вес 1 п. м звена ШСС.

Предлагаемый метод формирования значений весовых параметров в качестве входных данных для программ синтеза ШСС и СУ проверен путём сравнительного анализа с весовыми параметрами ПК, используемых в морских торговых портах Украины (табл. 5).

Таблица 5 Сравнительный анализ полученных результатов с весовыми характеристиками ШСС

Результаты расчёта предлагаемым методом для $Q = 40 \text{ м}$	Модели ПК, применяемые в портах		Отклонение от расчёта, %
	Марк-45 $Q = 40 \text{ м}$	Марк-40 $Q = 40 \text{ м}$	
$G_c = 21415 \text{ кг}$	$G_c = 26985 \text{ кг}$	$G_c = 20000 \text{ кг}$	7 %
$G_x = 11557 \text{ кг}$	$G_x = 19190 \text{ кг}$	$G_x = 14425 \text{ кг}$	20 %
$G_{ot} = 4303 \text{ кг}$	$G_{ot} = 5910 \text{ кг}$	$G_{ot} = 4340 \text{ кг}$	1 %

Сравнительный анализ подтверждает правильность принятого метода определения основных весовых параметров для совместного синтеза ШСС и СУ и показывает, что вес звеньев изученных кранов завышен.

Рис. 3. График зависимости $q = f(Q)$ для хобота при квадратичной аппроксимацииРис. 4. График зависимости $q = f(Q)$ для оттяжки при квадратичной аппроксимации

Таким образом, предложенные теоретические положения и практические методы исходных весовых данных могут служить этапом разработки и построения программы совместного автоматизированного синтеза ШСС и СУ.

Выводы

Авторами решена задача определения исходных весовых данных в зависимости от номинальной грузоподъемности крана и геометрических характеристик элементов ШСС; представлены формулы по расчёту веса звеньев ШСС, что позволяет сделать процесс автоматизированного проектирования непрерывным.

Выполнена апробация предложенного метода определения исходных весовых данных применительно к эксплуатируемым порталным кранам.

Результаты работы являются развитием существующих программ оптимизации и основой для совместного автоматизированного расчёта, синтеза и оптимизации ШСС и СУ порталных кранов.

Литература

1. Мисюра В.П. Теория синтеза стреловых систем порталных кранов в постановке задачи математического программирования / В.П. Мисюра, В.А. Михеев // Підйомно-транспортна техніка: науково-

- технічний та виробничий журнал. – 2006. – Вип. 3 (19). – С. 23–31.
2. Суглобов В.В. Метод расчёта входных данных для автоматизированного проектирования шарнирно-сочленённой системы порталного крана / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, Е.В. Ткачук // Вестник ХНАДУ: сб. науч. трудов. – 2012. – Вып. 57. – С. 264–269.
 3. Петухов П. З. Специальные краны: учеб. пособие / П.З. Петухов, Г.П. Ксюнин, Л.Г. Серлин. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
 4. Справочник по кранам: в 2 т. Т. 1 / под общ. ред. Гохберга М. М. – Л.: Машиностроение, 1988. – 536 с.
 5. Справочник по кранам: в 2 т. Т. 2 / под общ. ред. Гохберга М. М. – Л.: Машиностроение, 1988. – Т. 2. – 564 с.
 6. Суглобов В.В. Постановка задачи определения входных данных для совместного автоматизированного расчёта, синтеза и оптимизации стреловой системы и системы уравнивания порталного крана / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, Е.В. Ткачук // Підійомно-транспортна техніка: науково-технічний та виробничий журнал. – 2013. – Вип. 1 (37). – С. 61–67.
 7. Суглобов В.В. Пути повышения эксплуатационных качеств порталных кранов промышленного назначения на стадии проектирования / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, Е. В. Ткачук // Підійомно-транспортна техніка: науково-технічний та виробничий журнал. – 2013. – Вип. 2 (38). – С. 4–11.
 8. Суглобов В.В. Методика определения входных геометрических данных для совместного автоматизированного расчёта, синтеза и оптимизации стреловой системы и системы уравнивания порталного крана / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, Е.В. Ткачук // Підійомно-транспортна техніка: науково-технічний та виробничий журнал. – 2013. – Вип. 1 (37). – С. 86–96.
 9. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие / И.Л. Акулич. – М.: Высшая школа, 1986. – 364 с.
 10. Вычислительная техника и программирование / под общ. ред. Петрова А.В. – М.: Высшая школа, 1990. – 480 с.
- Рецензент: И.Г. Кириченко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 14 апреля 2014 г.
-