

EDN: ASPDYU

УДК 621.874:65.012.12

**Т. В. ЛУЦКО, Е. В. ПАВЛОВ, О. Ю. БЛИНДОВСКАЯ, К. Д. ДРАНЕВ, Д. А. ТЕЛЕГИН**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОСТОВЫХ КРАНОВ

**Аннотация.** В статье проанализировано влияние различных факторов на экономическую эффективность мостовых кранов. Для оценки стоимости мостовых кранов применялся метод корреляционного моделирования. Определены аналитические зависимости, описывающие теоретические линии регрессии стоимости мостовых кранов от их грузоподъемности в виде линейной, степенной и квадратичной функций, а также параболического многочлена 3-й степени. Установлено, что квадратный трехчлен описывает статистическую связь стоимости и грузоподъемности кранов с достаточно высоким приближением. Проанализированы годовые экономические эффекты для мостовых кранов КМ-12,5, КМ-16, КМ-20/5, КМ-32/5 и КМ-50/12,5. Наибольший экономический эффект составил у крана КМ-50/12,5. Установлено, что наиболее значимое влияние оказывает на повышение экономического эффекта крана его производительность, а также не менее важное влияние имеют текущие затраты.

**Ключевые слова:** корреляция, кран мостовой, метод, оценка, параметр, производительность, стоимость, эффективность.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Технико-экономический анализ проектируемых грузоподъемных кранов является актуальным в настоящее время, поскольку именно на нем базируется обоснование эффективности разрабатываемой новой техники.

Себестоимость проектируемых грузоподъемных кранов является главным этапом технико-экономического анализа. Именно себестоимость определяет стоимость машины.

Методы определения себестоимости (затрат) делятся на два класса [1]:

- 1) методы целостной оценки показателей объекта (параметрические методы – корреляционного моделирования, удельных экономических показателей и экспертных оценок);
- 2) методы оценки расчленения объекта анализа (методы прямой калькуляции).

В настоящей работе в качестве метода целостной оценки стоимости мостовых кранов применяется метод корреляционного моделирования.

В настоящих исследованиях также рассматривается влияние на годовой экономический эффект мостового крана стоимости, производительности и текущих затрат.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Суть метода прямой калькуляции определения себестоимости оцениваемого объекта состоит в анализе всех норм экономических показателей и сравнении с реально осуществленными затратами на производство оцениваемого объекта. Суть параметрических методов заключается в установлении связи между себестоимостью объекта оценки, его техническими параметрами и характеристиками [2].

Обоснование экономической эффективности и анализ технических параметров проектируемого мостового крана осуществляются путем установления взаимосвязи параметров проектируемого крана с показателями эффективности его функционирования [3].

В настоящее время существуют различные подходы по оценке и прогнозированию эффективности строительной техники. Наиболее общим критерием эффективности для грузоподъемных



кранов является критерий удельных приведенных затрат. Удельные приведенные затраты определяются годовыми приведенными затратами и годовой эксплуатационной производительностью.

В комплексе с экономическими критериями используются экологические, эргономические, технические (надежность) критерии [4].

Поскольку связь себестоимости крана от конструктивных и производственно-технологических параметров является корреляционной, то в настоящих исследованиях будем опираться на метод корреляционного моделирования.

**Целью** настоящего исследования является обоснование и оценка экономической эффективности мостовых кранов.

Задачами являются:

1. Установление аналитической зависимости, описывающей теоретическую линию регрессии зависимости стоимости мостовых кранов от их грузоподъемности.
2. Определение и анализ экономической эффективности мостовых кранов.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Вначале технико-экономического анализа мостовых кранов необходимо найти сходства и различия сравниваемых конструкций машин. Различают три уровня установления сходства [1]:

- первый уровень – функциональное сходство;
- второй уровень – конструктивное сходство;
- третий уровень – параметрическое сходство.

На основании рассмотренных уровней сходства мостовых кранов составлена таблица 1, в которой приведены основные технические параметры конструктивно подобных мостовых кранов [5].

**Таблица 1** – Основные технические параметры мостовых кранов

№ п/п	Параметр	Модели кранов				
		КМ-12,5	КМ-16	КМ-20/5	КМ-32/5	КМ-50/12,5
1	Грузоподъемность, т	12,5	16	20	32	50
	– главного подъема	–	–	5	5	12,5
	– вспомогательного подъема	–	–	–	–	–
2	Пролет, м	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
3	Высота подъема, м	–	–	–	–	–
	– главного	16	16	16	16	16
	– вспомогательного	–	–	15,7	15,7	15,7
4	Скорость подъема, м/с	–	–	–	–	–
	– главного	0,16	0,16	0,1	0,1	0,1
	– вспомогательного	–	–	0,32	0,2	0,16
5	Скорость передвижения грузовой тележки, м/с	0,63	0,63	0,77	0,63	0,32
6	Скорость передвижения крана, м/с	1,25	1,25	1,13	1,25	0,5
7	Масса грузовой тележки, т	3	3,7	6,3	8,7	13,5
8	Масса крана, т	20,5	21,7	25,5	35	48,5

Примечание. Группа режима работы у всех кранов А5.

Зависимости экономических показателей от параметров изделий и производственного процесса имеют нелинейный характер и вполне точно описываются степенной, гиперболической или параболической функциями.

Самой простой в построении и использовании является линейная математическая модель, однако она может применяться для аппроксимации зависимости на небольших диапазонах изменения параметра. При расширении этих диапазонов увеличиваются ошибки расчетных оценок.

Рассмотрим построение кривых регрессий зависимости стоимости мостовых кранов от их грузоподъемности.

В таблице 2 приведены исходные данные о грузоподъемности и стоимости пяти мостовых кранов, принадлежащих одному параметрическому ряду.

Обработка данных позволила получить следующие выражения для линейной, степенной и квадратичной функций:

Таблица 2 – Стоимость и грузоподъемность мостовых кранов

Номер крана	1	2	3	4	5
Грузоподъемность $x$ , т	12,5	16	20	32	50
Стоимость $y$ , тыс. руб.	2 169,8	2 432,9	3 299,9	5 300	6 360

$$y = 117,25x + 852,38; \quad (1)$$

$$y = 260,36x^{0,8361}; \quad (2)$$

$$y = -2,5478x^2 + 277,86x - 1130,1. \quad (3)$$

Параметры интерполяционного многочлена 3-й степени получены с помощью формулы Лагранжа, многочлен имеет вид:

$$y = -0,147x^3 + 11,066x^2 - 95,983x + 1873,9. \quad (4)$$

На рисунке 1 представлены кривые регрессии для линейной, степенной, квадратичной функций, а на рисунке 2 – для параболического многочлена 3-й степени [6].

В результате проведенного анализа выбор был остановлен на квадратном трехчлене формула (3), которая наилучшим образом выполняет аппроксимирующую роль для рассмотренного ряда мостовых кранов.

Вне статистически определенного интервала  $x = 1...5$  интерполяционная функция обнаруживает аномальные отклонения: при  $x > 1$  получаются резко заниженные значения  $y$ . Таким образом, для решения задачи приближенной экстраполяции параболический многочлен 3-й степени непригоден.

В выборе типа кривой большую роль играет также оценка тесноты связи, которая измеряется коэффициентом корреляции, дисперсией, коэффициентом вариации и другими статистическими показателями [7]. Чем большую тесноту связи обнаруживает кривая, тем более она предпочтительна при прочих равных условиях.

Общая дисперсия  $\sigma^2$  рассчитывается по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}, \quad (5)$$

где  $\bar{y}$  – среднее арифметическое значение.

Дисперсия выравненных (с помощью корреляционного уравнения) значений показателя относительно его фактических значений составит:

$$\sigma_{B,\Phi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{B,\Phi} - y_i)^2}{n}. \quad (6)$$

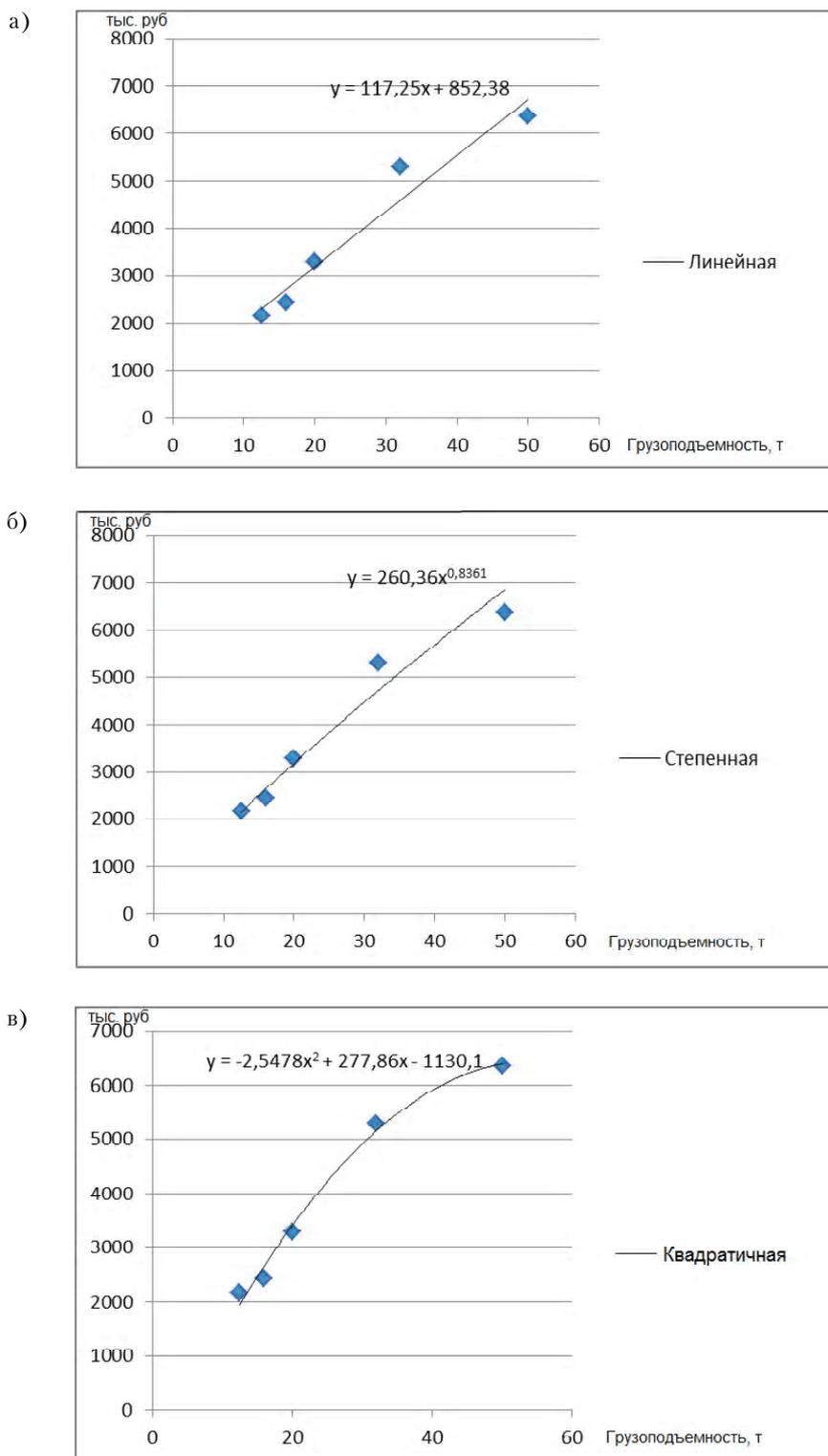
Значения  $y_{B,\Phi}$  определяются по линейной функции (1).

Дисперсия измеряет степень рассеяния данных относительно линии регрессии. Очевидно, при строгой функциональной связи  $\sigma_{B,\Phi}^2 = 0$ . Теснота связи между показателями  $y$  и  $x$  оценивается коэффициентом корреляции, показывающим, какая часть общей колеблемости  $y$  обусловлена изменчивостью аргумента  $x$ :

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{B,\Phi}^2}{\sigma^2}}. \quad (7)$$

Однако при небольшом числе исходных данных (объектов)  $n < 30$ , рассчитанное по формуле (7), значение коэффициента корреляции оказывается существенно завышенным [1].

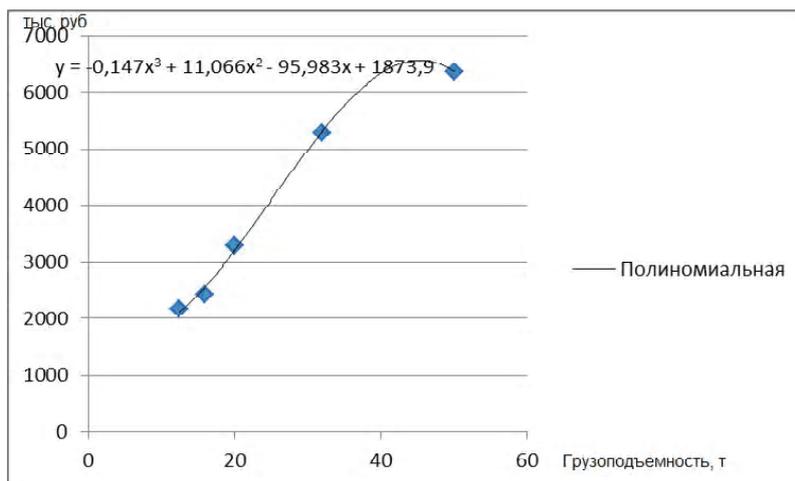
Теория корреляционного анализа [1] рекомендует корректировать рассчитанное по формуле (7) значение коэффициента корреляции следующим образом:



**Рисунок 1** – Кривые регрессии стоимости кранов от грузоподъемности: а) линейная; б) степенная; в) квадратичная.

$$R_{КОР} = \sqrt{1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n-1}{n-k}} \quad (8)$$

где  $R_{КОР}$  – скорректированный коэффициент парной корреляции;  
 $k = m + 1$  – число параметров в уравнении регрессии.



**Рисунок 2** – Кривая регрессии полиномиальная 3-й степени стоимости кранов от грузоподъемности.

Обратимся к рассмотрению зависимости стоимости крана от его грузоподъемности. Рассчитаем коэффициент корреляции для случая, когда эта зависимость описывается квадратным трехчленом формулы (3). Данные для расчета коэффициента корреляции берутся из таблицы 3.

**Таблица 3** – Данные для определения коэффициента корреляции

x	y	$y_B$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$y_B - y$	$(y_B - y)^2$
12,5	2 169,8	2 318	-1742,7	$3,037 \cdot 10^6$	148,2	$2,2 \cdot 10^4$
16	2 432,9	2 728,4	-1479,6	$2,189 \cdot 10^6$	295,5	$8,73 \cdot 10^4$
20	3 299,9	3 197,4	-612,6	$3,753 \cdot 10^5$	-102,5	$1,05 \cdot 10^4$
32	5 300	4 604,4	1 387,5	$1,925 \cdot 10^6$	-695,6	$4,84 \cdot 10^5$
50	6 360	6 714,9	2 447,5	$5,99 \cdot 10^6$	354,9	$1,26 \cdot 10^5$
$\Sigma x = 130,5$	$\Sigma y = 19562,6$ $\bar{y} = 3912,5$			$\Sigma (y - \bar{y})^2 =$ $= 1,352 \cdot 10^7$		$\Sigma (y_B - y)^2 =$ $= 7,3 \cdot 10^5$

Подставим полученные данные из таблицы 3 в уравнения (5) – (8). В итоге получим коэффициент корреляции:

Таким образом, квадратный трехчлен (3) описывает статистическую связь с достаточно высоким приближением.

Оценку эффективности рассматриваемых мостовых кранов КМ-12,5, КМ-16, КМ-20/5, КМ-32/5 и КМ-50/12,5 проведем на основании расчета годового экономического эффекта.

Наибольший годовой экономический эффект получен для мостового крана с наибольшей грузоподъемностью 50/12,5 т (табл. 4).

Проанализируем, как изменяется экономический эффект при изменении производительности и стоимости крана. В качестве примера рассмотрим пару – краны с двумя подъемами КМ-32/5 и КМ-50/12,5.

Как видно из графика, представленного на рисунке 3, стоимость крана влияет не так существенно, как производительность. То есть более значимый вклад вносит именно производительность крана. А также стоит отметить, что только при производительности крана КМ-50/12,5 свыше 45 т/ч появляется экономический эффект от разработки крана.

Выполним сравнение экономического эффекта от производительности и текущих затрат. Анализ полученного на рисунке 4 графика показал, что наиболее значимое влияние оказывает производительность на повышение экономического эффекта. Текущие затраты также оказывают влияние, хотя не столь значительное в сравнении с производительностью.

Таблица 4 – Основные технико-экономические показатели мостовых кранов

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение				
		КМ-12,5	КМ-16	КМ-20/5	КМ-32/5	КМ-50/12,5
Масса машины	т	20,5	21,7	25,5	35	48,5
Эксплуатационная часовая производительность	т/ч	33,2	42,5	23,1	31,8	49,4
Суммарная мощность двигателей крана	кВт	21,4	29	37	56,8	110,8
Инвентарно-расчетная стоимость машины	тыс. руб.	2 169,8	2 432,9	3 299,9	5 300	6 360
Годовые эксплуатационные издержки	тыс. руб.	3 467,2	3 835,7	4 383,8	5 667,9	8 119,7
Срок окупаемости	лет	–	0,4	12,7	8,2	1,1
Годовой экономический эффект	тыс. руб.	–	659	31,4	243,2	991,4

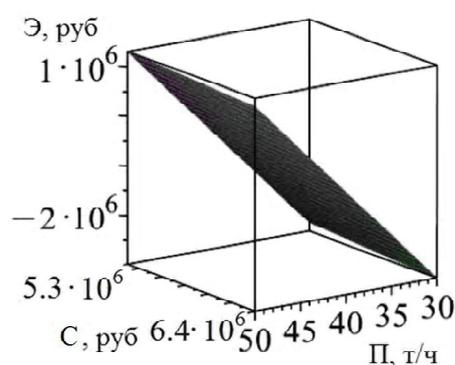


Рисунок 3 – Зависимость годового экономического эффекта от производительности и стоимости крана КМ-50/12,5.

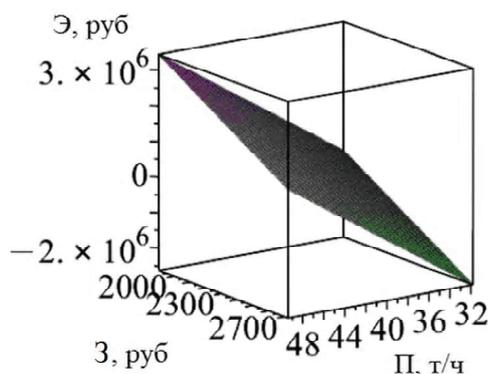


Рисунок 4 – Зависимость годового экономического эффекта от производительности и текущих затрат крана КМ-50/12,5.

## ВЫВОДЫ

1. Связь стоимости и параметров мостовых кранов является корреляционной. Построены кривые регрессии стоимости мостовых кранов от грузоподъемности для линейной, степенной, квадратичной функций и для параболы 3-й степени. На основе этих выражений определяется стоимость крана с наибольшей грузоподъемностью. В результате проведенного анализа выбор был остановлен на квадратичной функции, которая наилучшим образом выполняет аппроксимирующую роль для рассмотренного ряда мостовых кранов.

2. Выполнена оценка тесноты связи для уравнений регрессии. Определен коэффициент корреляции для случая, когда эта зависимость описывается квадратным трехчленом. Установлено, что квадратный трехчлен описывает статистическую связь с достаточно высоким приближением  $R_{КОР} = 0,887$ .

3. Определены годовые экономические эффекты и сроки окупаемости для следующих кранов КМ-16, КМ-20/5, КМ-32/5 и КМ-50/12,5.

Наибольший эффект получен для крана КМ-50/12,5, который составляет 991,4 тыс. руб. Обусловлен он наибольшей производительностью.

4. Проанализированы зависимости годового экономического эффекта мостовых кранов при изменении производительности и стоимости крана, а также производительности и текущих затрат. Установлено, что наиболее значимое влияние оказывает на повышение экономического эффекта производительность, а также не менее важное влияние имеют текущие затраты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кац, Г. Б. Техничко-экономический анализ и оптимизация конструкций машин / Г. Б. Кац, А. П. Ковалев. – Москва : Машиностроение, 1981. – 214 с. – Текст : непосредственный.
2. Оценка машин, оборудования и транспортных средств : учебное пособие для вузов / А. Н. Асаул, В. Н. Старинский, М. А. Асаул, А. Г. Бездудная ; под редакцией А. Н. Асаула. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 183 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-04966-4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/492942> (дата обращения: 03.10.2023).
3. Галдин, Н. С. Техничко-экономическое обоснование проектирования мостовых кранов / Н. С. Галдин, О. В. Абдулаева, С. В. Еремина. – Текст : непосредственный // Вестник СибАДИ. – Омск : СибАДИ, 2015. – Выпуск 5 (45). – С. 17–21.
4. Гончаров, К. А. Комплексная математическая модель функциональной эффективности грузоподъемного крана / К. А. Гончаров, И. А. Денисов. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – № 4. – С. 389–399.
5. Справочник по кранам : в 2 т., том 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / под общей редакцией М. М. Гохберга. – Москва : Машиностроение, 1988. – 559 с. – Текст : непосредственный.
6. Использование Microsoft Excel 2000 : учебное пособие. Специальное издание ; перевод с английского / Патрик Блатнер, Лори Ульрих, Кен Кук, Тимоти Дик. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2000. – 1024 с. – Текст : непосредственный.
7. Математическая статистика : учебник для вузов / В. Б. Горяинов, И. В. Павлов, Г. М. Цветкова [и др.] ; под редакцией В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 424 с. – Текст : непосредственный.

Получена 14.11.2023

Принята 24.11.2023

TATYANA LUTSKO, EVGENY PAVLOV, OKSANA BLINDOVSKAYA,  
KIRILL DRANEV, DANIL TELEGIN  
EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF BRIDGE CRANES  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The article analyzes the influence of various indicators on the economic efficiency of bridge cranes. The correlation modeling method was used to estimate the cost of bridge cranes. Analytical dependences describing the theoretical regression lines of the cost of bridge cranes on their load capacity in the form of linear, power and quadratic functions, as well as a parabolic polynomial of the 3rd degree are determined. It is established that the square trinomial describes the statistical relationship between the cost and the lifting capacity of cranes with a sufficiently high approximation. Annual economic effects for bridge cranes КМ-12,5, КМ-16, КМ-20/5, КМ-32/5 and КМ-50/12,5 are analyzed. The greatest economic effect was at the crane КМ-50/12,5. It is established that the most significant impact on the increase in the economic effect of the crane is its productivity, as well as current costs have an equally important impact.

**Keywords:** correlation, bridge crane, method, evaluation, parameter, performance, cost, efficiency.

Луцко Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: статика и динамика грузоподъемных кранов.

**Павлов Евгений Викторович** – магистрант кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: анализ и оценка эффективности грузоподъемных кранов.

**Блиндовская Оксана Юрьевна** – магистрант кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: анализ и оценка эффективности грузоподъемных кранов.

**Дранев Кирилл Дмитриевич** – магистрант кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: анализ и оценка эффективности грузоподъемных кранов.

**Телегин Данил Александрович** – магистрант кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: анализ и оценка эффективности грузоподъемных кранов.

**Lutsko Tatyana** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: static's and dynamics of lifting cranes.

**Pavlov Evgeny** – master's student, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: analysis and evaluation of the efficiency of lifting cranes.

**Blindovskaya Oksana** – master's student, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: analysis and evaluation of the efficiency of lifting cranes.

**Dranev Kirill** – master's student, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: analysis and evaluation of the efficiency of lifting cranes.

**Telegin Danil** – master's student, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: analysis and evaluation of the efficiency of lifting cranes.