



КЛАССИФИКАЦИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫНОСНЫХ ОПОР НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В. А. Пенчук¹, А. Г. Водолажченко², А. Ю. Горулёв³

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 286123.*

E-mail: ¹ penshyk@rambler.ru, ² vodsasha2007@rambler.ru, ³ lex-good-go@yandex.ru

Получена 04 ноября 2019; принята 22 ноября 2019.

Аннотация. В работе рассмотрены существующие конструкции выносных опор различных машин, применяемых при строительстве и реконструкции зданий и сооружений, а также в дорожном строительстве. На основании проведенного анализа предложена классификация выносных опор наземных транспортно-технологических машин, в основу которой положено сочетание линейных и угловых перемещений в трехмерном пространстве, совершаемых элементами выносной опоры при ее переводе из транспортного положения в рабочее. Рассмотрен вопрос оценки эффективности различных конструкций выносных опор в соответствии с предложенной классификацией. В качестве критериев эффективности предложено использовать коэффициент эффективности по производительности и коэффициент удельных приведенных затрат. Выполнена сравнительная оценка двух вариантов конструкции выносных опор автомобильного крана. Полученные результаты показывают, что эффективность применения усовершенствованной выносной опоры увеличивается с ростом количества перестановок машины с одной рабочей позиции на другую.

Ключевые слова: машина мобильная, опора выносная, устойчивость, перемещение линейное, перемещение угловое, производительность эксплуатационная, затраты удельные.

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВИНОСНИХ ОПОР НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

В. О. Пенчук¹, О. Г. Водолажченко², О. Ю. Горулёв³

*ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 286123.*

E-mail: ¹ penshyk@rambler.ru, ² vodsasha2007@rambler.ru, ³ lex-good-go@yandex.ru

Отримана 04 листопада 2019; прийнята 22 листопада 2019.

Анотація. У роботі розглянуті існуючі конструкції виносних опор різних машин, що застосовуються при будівництві та реконструкції будівель і споруд, а також в дорожньому будівництві. На підставі проведеного аналізу запропонована класифікація виносних опор наземних транспортно-технологічних машин, в основу якої покладено поєднання лінійних і кутових переміщень в тривимірному просторі, що здійснюються елементами виносної опори при її переведенні з транспортного положення в робоче. Розглянуто питання оцінки ефективності різних конструкцій виносних опор відповідно до запропонованої класифікації. Як критерії ефективності запропоновано використовувати коефіцієнт ефективності по продуктивності і коефіцієнт питомих приведених витрат. Виконана порівняльна оцінка двох варіантів конструкції виносних опор автомобільного крана. Отримані результати показують, що ефективність застосування вдосконаленої виносної опори збільшується із зростанням кількості перестановок машини з однієї робочої позиції на іншу.

Ключові слова: машина мобільна, опора виносна, стійкість, переміщення лінійне, переміщення кутове, продуктивність експлуатаційна, витрати питомі.

CLASSIFICATION AND EFFICIENCY OF APPLICATION OF OUTRIGGERS OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Valentine Penchuk¹, Alexander Vodolazhchenko², Alexey Gorulyov³

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.*

E-mail: ¹ penshyk@rambler.ru, ² vodsasha2007@rambler.ru, ³ lex-good-go@yandex.ru

Received 04 November 2019; accepted 22 November 2019.

Abstract. The paper considers the existing designs of outriggers of various machines are used in the construction and reconstruction of buildings and structures, as well as in road construction. On the basis of the analysis, the classification of outriggers of ground transport and technological machines is proposed, which is based on the combination of linear and angular movements in three-dimensional space, performed by the elements of the outrigger when it is transferred from the transport position to the working one. The question of evaluating the effectiveness of various structures of outriggers in accordance with the proposed classification is considered. As efficiency criteria, it is proposed to use the efficiency coefficient for productivity and the coefficient of specific reduced costs. The comparative assessment of two variants of construction of outriggers of the automobile crane is carried out. The results show that the efficiency of using an improved outrigger increases with the number increase of shifts of the machine from one working position to another.

Keywords: mobile machine, outrigger, stability, linear movement, angular movement, operating productivity, specific costs.

Формулировка проблемы

В современном строительном производстве в процессе возведения различных промышленных и гражданских объектов, при выполнении реконструкции и ремонтных работ, а также в дорожном строительстве требуется высокий уровень механизации. Наиболее трудоемкие работы, такие как земляные, монтажные, погрузочно-разгрузочные выполняются передвижными или мобильными машинами. Опыт проектирования и эксплуатации подобных машин показывает, что для обеспечения высоких транспортных скоростей наиболее перспективным является применение пневмоколесных ходовых устройств. Однако, в силу своих конструктивных особенностей, пневмоколесный движитель в большинстве случаев не обеспечивает достаточной устой-

чивости машины при выполнении рабочих операций. В конструкциях мобильных наземных транспортно-технологических машин используются выносные опоры, которые позволяют обеспечить их устойчивость за счет увеличения опорного контура.

Выносными опорами оборудуются такие машины, как грузоподъемные краны (автомобильные, на спецшасси автомобильного типа, короткобазовые пневмоколесные), одноковшовые экскаваторы на пневмоколесном ходу, автомобильные краны-манипуляторы, автовышки и другие. Кроме того, выносные опоры позволяют исключить из работы упругие элементы подвески базового шасси и позиционировать раму машины в горизонтальной плоскости, что также способствует уменьшению опрокидывающего

момента и повышает устойчивость машины при выполнении рабочих операций. Выносные опоры имеют рабочее положение, при котором машина выполняет свои непосредственные функции, и транспортное положение, при котором машина перемещается с одного объекта на другой.

Анализ последних исследований и публикаций

Известны различные конструктивные решения выносных опор [1–3, 9–17]. В некоторых источниках предлагается классифицировать выносные опоры по виду привода: с ручным приводом, с гидравлическим приводом, с комбинированным приводом, в других [4] – по конструктивным особенностям: откидные, выдвижные, поворотные. В работе [8] приведен анализ конструкций специфических выносных опор, которые позволяют не просто опираться на основание, а соединить машину с основанием за счет применения анкеров, винтовых якорей или специальных изогнутых стержней.

Вопросам обеспечения устойчивости кранов-манипуляторов посвящены работы [5, 6, 23, 24], проблемы определения нагрузок на выносные опоры мобильных грузоподъемных кранов рассмотрены в работах [21, 22, 25]. В работе [7] предлагается применять выносные опоры для автосамосвалов, работающих в карьерах, с целью снижения динамических нагрузок на раму машины при загрузке кузова.

Однако предложенные классификации не обладают достаточной наглядностью и не несут всеобъемлющий характер.

Для машин, которые часто меняют свою рабочую позицию в пределах одного объекта либо перемещаются с одного объекта на другой, особо остро стоит вопрос сокращения времени на перевод машины из транспортного состояния в рабочее и обратно. Чем меньше затраты времени на выполнение вспомогательных и подготовительных операций, тем выше среднечасовая эксплуатационная производительность машины.

Цель

Разработать классификацию выносных опор, которая позволит описать существующие конструкции и создавать новые, предложить критерий эффективности для сравнительной оценки

различных вариантов конструкции выносных опор на основе предложенной классификации.

Основной материал

Для примера рассмотрим конструкцию выдвижной выносной опоры, которая показана на рисунке 1. Плоскость XU – это горизонтальная плоскость, при этом ось X направлена параллельно продольной оси базовой машины.

Обозначим линейные перемещения l , а угловые перемещения – ω . Например, если выносная опора при переводе из транспортного положения в рабочее, совершает перемещение в плоскости ZU только вдоль оси U , то оно будет обозначено l_u . Если перемещение происходит в плоскости ZU одновременно относительно двух осей, то l_{uz} . Если выносная опора совершает поворот относительно какой-либо оси, например Z , то такое перемещение будем обозначать ω_z .

В таблице 1 приведены схемы и условные обозначения различных вариантов выносных опор.

Одним из главных критериев, определяющих технический уровень техники с учетом ее конструкции и условий эксплуатации, является часовая эксплуатационная производительность [16].

Для определения среднечасовой эксплуатационной производительности рекомендуется использовать следующую зависимость [18]:

$$P_{\text{э}} = \frac{3600Qk_{\text{гр}}k_{\text{в}}}{t_{\text{ц}}}, \text{ т/ч}, \quad (1)$$

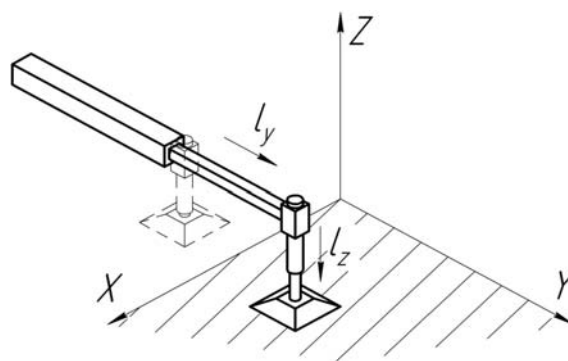


Рисунок 1. Выносная опора в трёхмерной системе координат.

Таблица 1. Классификация выносных опор

№ схемы	Конструктивная схема	Условное обозначение	№ схемы	Конструктивная схема	Условное обозначение
1		l_z	6		$\varphi_z l_z$
2		φ_x	7		$l_{yz} l_z$
3		$l_y l_z$	8		$l_{xy} l_z$
4		$\varphi_y l_z$	9		$l_y \varphi_y l_z$
5		$\varphi_x l_z$	10		$\varphi_z l_{xy} l_z$

где Q – номинальная грузоподъемность, т;

k_{sp} – коэффициент использования машины по грузоподъемности;

k_e – коэффициент использования машины по времени.

Продолжительность рабочего цикла обычно складывается из продолжительности машинного времени цикла и продолжительности вспомогательных операций, не входящих в продолжительность цикла.

Продолжительность цикла предлагается определять [19] как сумму промежутков времени, требуемых для выполнения отдельных операций цикла, с учетом возможности совмещения некоторых рабочих движений:

$$t_u = \varepsilon \sum_{i=1}^n t_i = \varepsilon(t_1 + t_2 + \dots + t_n), \text{ с,} \quad (2)$$

где ε – коэффициент одновременности, то есть коэффициент, учитывающий, насколько сократится продолжительность цикла при совмещении нескольких рабочих движений;

t_1, t_2, t_n – время, затрачиваемое на выполнение отдельной операции цикла (например, время на подъем и опускание груза, время изменения вылета груза, время поворота и т. д.)

Для мобильных машин, которые часто перебазируются с места на место, на среднечасовую эксплуатационную производительность в значительной степени будет оказывать влияние продолжительность вспомогательных операций, к которым относится время установки машины на выносных опорах. В этом случае продолжительность цикла можно определять по следующей зависимости:

$$t_u = 2t_{ycm}n_{on}m + t_{paб}, \text{ с,} \quad (3)$$

где t_{ycm} – время установки одной выносной опоры, с;

n_{on} – количество выносных опор;

m – среднее число перестановок машины с использованием выносных опор в течение часа; $t_{paб}$ – время на выполнение рабочих движений, а также вспомогательных операций, связанных, например, со строповкой грузов.

Будем полагать, что установка выносной опоры и возвращение ее в исходное (транспортное) положение происходит за одинаковые промежутки времени.

Таким образом, зависимость (3) позволяет выявить влияние времени установки выносных

опор на продолжительность цикла, а следовательно, и на среднечасовую производительность.

Более эффективными будем считать те выносные опоры, которые позволят сократить время цикла, то есть время установки выносной опоры должно стремиться к минимальному значению:

$$t_{ycm} \rightarrow t_{min}.$$

При сравнении двух образцов техники, которые могут быть оборудованы различными конструкциями выносных опор, параметры, входящие в числитель формулы (1), остаются одинаковыми для базового (Б) и нового (Н) вариантов техники, то есть можно записать, что

$$Q^B = Q^H; \quad k_{sp}^B = k_{sp}^H; \quad k_e^B = k_e^H.$$

То же самое можно сказать и о параметрах, входящих в формулу (3):

$$t_{paб}^B = t_{paб}^H; \quad n_{on}^B = n_{on}^H; \quad m^B = m^H.$$

Для объективной оценки различных образцов техники будем использовать коэффициент эффективности по производительности:

$$k_{np} = \frac{\Pi_{\varepsilon}^H}{\Pi_{\varepsilon}^B} = \frac{3600Q^H k_{sp}^H k_e^H t_u^B}{3600Q^B k_{sp}^B k_e^B t_u^H} = \frac{t_u^B}{t_u^H}. \quad (4)$$

С учетом зависимости (3) получим:

$$k_{np} = \frac{2t_{ycm}^B n_{on} m + t_{paб}}{2t_{ycm}^H n_{on} m + t_{paб}}. \quad (5)$$

Время установки выносной опоры в соответствии с предложенной классификацией можно определить следующим образом:

$$t_{ycm} = t_{lx} + t_{ly} + t_{lz} + t_{\varphi x} + t_{\varphi y} + t_{\varphi z}, \text{ с,} \quad (6)$$

где t_{lx}, t_{ly}, t_{lz} – время линейных перемещений в направлении соответствующих осей координат, с;

$t_{\varphi x}, t_{\varphi y}, t_{\varphi z}$ – время угловых перемещений относительно соответствующих осей координат, с.

$$t_{ycm} = \frac{l_x}{v_x} + \frac{l_y}{v_y} + \frac{l_z}{v_z} + \frac{\varphi_x}{\omega_x} + \frac{\varphi_y}{\omega_y} + \frac{\varphi_z}{\omega_z}, \text{ с,} \quad (7)$$

где l_x, l_y, l_z – линейные перемещения в направлении соответствующих осей координат, м;

v_x, v_y, v_z – скорости линейных перемещений, м/с;

$\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ – углы поворота выносной опоры относительно соответствующих осей координат, рад;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые скорости относительно соответствующих осей координат, с⁻¹;

В работе [18] в качестве критерия эффективности применения техники предлагается использовать величину удельных приведенных затрат:

$$Z_{y\partial} = \frac{Z_{np}}{P_3}, \text{ руб/т}, \quad (8)$$

где Z_{np} – приведенные затраты, отнесенные к одному машино-часу эксплуатации техники, руб/маш.-ч.

Величину приведенных затрат можно определить по известной зависимости:

$$Z_{np} = C + E_H K, \text{ руб/маш.-ч}, \quad (9)$$

где C – текущие затраты, руб/маш.-ч;

E_H – нормативный коэффициент сравнения эффективности капитальных вложений;

K – капитальные вложения, руб.

Для сравнительной оценки эффективности затрат материальных средств при использовании различных конструкций выносных опор можно ввести коэффициент удельных приведенных затрат:

$$k_{зам} = \frac{Z_{y\partial}^H}{Z_{y\partial}^B}. \quad (10)$$

Примем в качестве базовой модели автомобильный кран КС-45721 на базе грузового автомобиля Урал 4320, который оборудован выносными опорами типа $l_y l_z$ № 3 по принятой классификации (таблица 1). В качестве образца новой техники рассмотрим такой же кран, но оборудованный выносными опорами, предложенными в статье [9]. Данные выносные опоры имеют условное обозначение $l_y \varphi_y l_z$ № 9 (таблица 1) и позволяют использовать гидродомкрат с уменьшенным ходом поршня. Величина текущих затрат для обоих вариантов техники составляет $C = 980$ руб/маш.-ч, нормативный коэффициент $E_H = 0,15$. Для базового варианта применяется гидродомкрат для вывешивания крана с ходом 580 мм и стоимостью 2 2500 руб, тогда как новый вариант техники оснащается гидродомкратом,

ход которого равен 360 мм, а стоимость 14 000 руб.

Рабочее время цикла можно определить в соответствии с рекомендациями [20]:

$$t_{раб} = \frac{2,5H}{v_{cp}} + 2 \left(\frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} + \frac{N_{cp}}{n_{кр}} \right) + t_{p,3}, \text{ с}, \quad (11)$$

где H – высота подъема груза, принимаем усредненное значение в соответствии с высотой характеристик крана $H = 12,8$ м;

v_{cp} – средняя скорость подъема (опускания) груза, = 0,29 м/с;

l_1 – средний путь стрелы при изменении вылета, $l_1 = 8,75$ м;

l_2 – средний путь телескопирования стрелы, $l_2 = 6$ м;

N_{cp} – среднее число оборотов крана, $N_{cp} = 0,67$ об;

v_1 – скорость передвижения проекции головки стрелы, $v_1 = 0,35$ м/с;

v_2 – скорость телескопирования стрелы, $v_2 = 0,1$ м/с;

$n_{кр}$ – средняя частота вращения поворотной части крана, $n_{кр} = 1,15$ мин⁻¹;

$t_{p,3}$ – средняя продолжительность вспомогательных ручных операций, $t_{p,3} = 30$ с.

$$t_{раб}^B = t_{раб}^H = \frac{2,5 \cdot 12,8}{0,29} + 2 \left(\frac{8,75}{0,35} + \frac{6}{0,1} + \frac{0,67}{1,15} \right) + 30 = 312 \quad (с).$$

Скорость поршня гидроцилиндра выдвигания балок выносных опор $v = 0,08$ м/с, скорость поршня гидродомкрата $v = 0,02$ м/с. Следует отметить, что новый вариант выносной опоры предусматривает совмещение во времени линейного перемещения вдоль оси Y , и поворота вокруг этой же оси опорного домкрата. В таблице 2 приведены результаты расчетов показателей эффективности применения двух вариантов выносных опор крана.

В результате расчетов были построены графики, иллюстрирующие эффективность применения двух вариантов конструкций выносных опор в зависимости от количества перестановок крана в течение одного часа (рисунок 2).

Таблица 2. Результаты расчета

m	Время цикла, с		Производительность, т/ч		Удельные затраты, руб/т		k_{np}	$k_{зат}$
	Н	Б	Н	Б	Н	Б		
1	712	624	75,84	86,54	190,93	167,32	1,141	0,876
2	1112	936	48,56	57,69	298,19	251	1,188	0,842
3	1512	1248	35,71	43,27	405,49	334,64	1,212	0,825
4	1912	1560	28,24	34,62	512,75	418,26	1,226	0,816
5	2312	1872	23,36	28,85	619,86	501,91	1,235	0,81

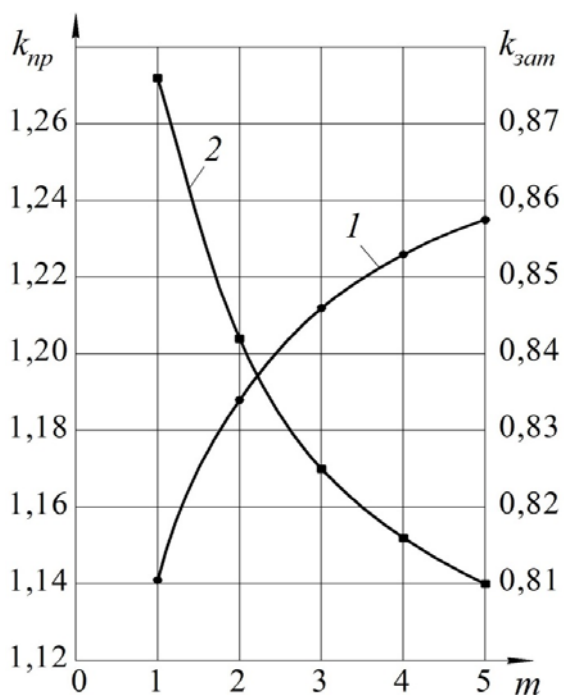


Рисунок 2. Графики изменения коэффициента эффективности по производительности (1) и коэффициента удельных приведенных затрат (2).

Выводы

Предложенная классификация выносных опор может использоваться не только для описания уже известных конструкций, но и позволяет синтезировать новые конструктивные решения.

В качестве критерия эффективности применение той или иной конструкции выносной опоры предложено использовать отношение эксплуатационных производительностей и удельных приведенных затрат нового и базового варианта техники.

С ростом количества перестановок крана с одного рабочего места на другое коэффициент эффективности по производительности растет, так как увеличивается влияние времени установки выносных опор на эксплуатационную производительность крана.

Коэффициент удельных приведенных затрат меньше единицы, это говорит о том, что удельные затраты на новую конструкцию выносных опор уменьшаются, а с ростом количества перестановок крана это уменьшение становится более ярко выражено.

Требуются дальнейшие исследования с целью выявления факторов, влияющих на эффективность применения выносных опор различных конструкций.

Литература

1. Андриенко, Н. Н. Стреловые самоходные краны [Текст] / Н. Н. Андриенко. – Одесса : Астропринт, 2001. – 706 с.
2. Адаптивная выносная опора для кранов на железнодорожном ходу [Текст] / О. А. Бардышев, Д. Е. Попов, Я. С. Ватулин, В. А. Попов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2004. № 2. С. 157–162.
3. Бардышев О. А. Зарубежные строительные подъемники [Электронный ресурс] / О. А. Бардышев, Н. В. Горелов, А. О. Бардышев // Механизация строительства. 2011. № 4. С. 21–24. – Режим доступа : <https://rucont.ru/efd/541247>.
4. Выносные опоры автокранов [Текст] / Т. Н. Орехова, В. В. Краснов, Н. П. Демушкин // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2018 : сборник докладов XXI Международной научно-технической конференции (8–12 октября 2018 г., г. Москва). – Под ред. С. Я. Галицкова. – М. : МИСИ-МГСУ, 2018. С. 143–146. – ISBN 978-5-7264-1896-4.
5. Устройства безопасности подъемников с рабочими платформами [Текст] / А. И. Старченко, С. Е. Тихомиров, Г. Д. Черненко // Строительная техника и технологии. 2016. №1–2 (117–118). С. 32–37.
6. Лагереv, И. А. Повышение безопасности эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин с манипуляционными системами при работе с аутригерами [Текст] / И. А. Лагереv, А. В. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 3. С. 296–302.
7. Халецкий, В. В. Выносные опоры для снижения динамических нагрузок на опорные конструкции карьерных автосамосвалов [Текст] / В. В. Халецкий, М. И. Ахметова // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. 2016. № 1. С. 76–79.
8. Бычков, И. С. Анализ модифицированных выносных опор для грузоподъемных машин [Текст] / И. С. Бычков // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных : сборник материалов III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (07–08 февраля 2019 г., Омск). – Омск : СибАДИ. – 2019. – С. 47–50.
9. Водолажченко, А. Г. Выносная опора автомобильного крана с поступательно-вращательным приводом механизма выдвижения гидродомкрата [Текст] / А. Г. Водолажченко, А. Ю. Горулёв // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. Вып. 2018-6(134) Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. С. 58–63.
10. Эффективная опора двухстороннего действия для связи строительных машин с грунтовым

References

1. Andriyenko, N. N. Boom self-propelled cranes [Text]. Odessa : Astroprint, 2001. 706 p. (in Russian)
2. Bardyshev, O. A.; Popov, D. Ye.; Vatulin, Ya. S.; Popov V. A. Adaptive remote support for cranes on railway to the course [Text]. In: *News of the Saint Petersburg University of railway transport*. 2004. № 2. P. 157–162. (in Russian)
3. Bardyshev, O. A.; Gorelov, N. V.; Bardyshev A. O. Foreign construction lifts [Electronic resource]. In: *Mechanization of construction*. 2011. № 4. P. 21–24. Access mode: <https://rucont.ru/efd/541247>.
4. Orekhova, T. N.; Krasnov, V. V.; Demushkin N. P.; Outriggers of cranes [Text]. In: *INTERSTROYMECH-2018: proceedings*. XXI International Scientific and Technical Conference; edited by S. Ya. Galitskov. Moscow : MCEI – MSUCE, 2018. P. 143–146. (in Russian)
5. Starchenko, A. I.; Tikhomirov, S. Ye.; Chernenko, G. D. Safety devices for lifts with working platforms [Text]. In: *Construction equipment and technologies*. 2016. № 1–2 (117–118). P. 32–37. (in Russian)
6. Lagerev, I. A.; Lagerev, A. V. Improving the safety of operation of mobile transport and technological machines with manipulating systems when working with outriggers [Text]. In: *Scientific and technical Bulletin of Bryansk state University*. 2017. № 3. P. 296–302. (in Russian)
7. Khaletsky, V. V.; Akhmetova, M. I. Outriggers for reducing dynamic loads on the support structures of dump trucks [Text]. In: *Current problems of improving the efficiency and safety of operation of mining and oilfield equipment*. 2016. № 1. P. 76–79. (in Russian)
8. Bychkov, I. S. Analysis of modified outriggers for lifting machines [Text]. In: *Fundamental and applied research of young scientists: proceedings of the III International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists*. Omsk : SSAHU. 2019. P. 47–50. (in Russian)
9. Vodolazhchenko, A. G.; Gorulev, A. Yu. Outrigger of a car crane with a translational-rotational drive of the hydraulic Jack extension mechanism [Text]. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2018. Issue 2018-6(134): Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction. P. 58–63. (in Russian)
10. Penchuk, V. A.; Belitsky, D. G.; Golubov, I. V. Effective two-way support for connecting construction machines to the ground base [Text]. In: *INTERSTROYMECH-2013: proceedings of the International scientific and technical conference*. Novochoerkassk: SRSTU (Novochoerkassk Polytechnic Institute), 2013. P. 135–140. (in Russian)
11. Patent RU 2 361 806 C1 Russian Federation, MPK B 66 C 23/78. External support of lifting-vehicles

- основанием [Текст] / В. А. Пенчук, Д. Г. Белицкий, И. В. Голубов // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2013: материалы Международной научно-технической конференции (1–2 октября 2013 г., г. Новочеркасск). – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2013. – С. 135–140.
11. Пат. RU 2 361 806 C1 Российская Федерация, МПК В 66 С 23/78. Выносная опора подъемно-транспортного средства [Текст] / Сальников В. Г., Потанов В. А. и Семенов Ю. Е.; патентообладатель ГОУ ВПО Тульский государственный университет (ТулГУ). – № 2008110303/11; заявл. 17.03.2008; опубл. 20.07.09, Бюл. № 20. – 8 с.
 12. Пат. RU 2 333 146 C1 Российская Федерация, МПК В 66 С 23/78. Автомобильный кран [Текст] / Макаров А. Б.; патентообладатель ООО «Научно-исследовательский институт стреловых кранов». – № 2006140653/11; заявл. 17.11.2006; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25. – 42 с.
 13. Пат. RU 2 615 843 C1 Российская Федерация, МПК В 66 С 23/78. Боковая опора для подъемно-транспортной машины [Текст] / Шурыгин В. А., Ходяков В. Н.; патентообладатель АО «Центральное конструкторское бюро «Титан». – № 2016108059; заявл. 04.03.2016; опубл. 11.04.2017, Бюл. № 11. – 9 с.
 14. Пат. RU 2 539 706 C1 Российская Федерация, МПК В 66 С 23/80; В60S 9/12. Кран стреловой самоходный [Текст] / Баринов О. С.; патентообладатель Баринов О. С. – № 2013157996/11; заявл. 26.12.2013; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3. – 8 с.
 15. Пат. RU 2 304 079 C1 Российская Федерация, МПК В 66 С 23/00; В 66 С 23/78. Выносная опора грузоподъемной машины [Текст] / Буженко В. Е., Рябков В. С., Чернов А. В.; патентообладатель ГОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет. – № 2005140820/11; заявл. 26.12.2005; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 22. – 6 с.
 16. Пат. RU 2 059 566 C1 Российская Федерация, МПК В 66 С 23/78. Выносная опора грузоподъемной машины [Текст] / Молодцов В. А., Корзников Е. П., Гудков Ю. И., Юпатов А. С.; патентообладатель Государственный конструкторско-технологический институт по механизации монтажных и специальных строительных работ. – № 93018254/11; заявл. 08.04.1993; опубл. 10.05.1996. – 8 с.
 17. Пат. RU 40 961 U1 Российская Федерация, МПК В 60 P 1/00. Грузоподъемная машина с поворотновыдвижными опорами [Текст] / Сысолятин В. И., Потягалов Ф. В., Матвеев О. Л.; патентообладатели Сысолятин В. И., Потягалов Ф. В., Матвеев О. Л. – № 2003104687/22; заявл. 19.02.2003; опубл. 10.10.2004. – 4 с.
 18. Ярмолинский, В. А. Механизм анализа эффективности машин [Текст] / В. А. Ярмолинский // Строительная техника и технологии. 2016. № 1–2 (117–118). С. 64–69.
 19. Вайнсон, А. А. Подъемно-транспортные машины [Текст]: учебник для вузов по специальности [Текст] / Salnikov, V. G.; Potapov, V. A.; Semenov Yu. Ye.; patent holders Tula State University; № 2008110303/11; declaration 17.03.2008; published 20.07.09, Bul. № 20. 8 p. (in Russian)
 20. Patent RU 2 333 146 C1 Russian Federation, MPK B 66 C 23/78. Truck crane [Text] / Makarov, A. B.; patent holders LLC «research Institute of jib cranes»; № 2006140653/1; declaration 17.11.2006; published 10.09.2008, Bul. № 25. 42 p. (in Russian)
 21. Patent RU 2 615 843 C1 Russian Federation, MPK B 66 C 23/78. Lateral support for handling machine [Text] / Shurygin V. A.; Khodyakov V. N.; patent holders JSC «Central design Bureau «Titan»; № 2016108059; declaration 04.03.2016; published 11.04.2017, Bul. № 11. 9 p. (in Russian)
 22. Patent RU 2 539 706 C1 Russian Federation, MPK B 66 C 23/80; B60S 9/12. Self-propelled jib crane [Text] / Barinov O. S.; patent holders Barinov O. S.; № 2013157996/11; declaration 26.12.2013; published 27.01.2015, Bul. № 3. 8 p. (in Russian)
 23. Patent RU 2 304 079 C1 Russian Federation, MPK B 66 C 23/00; B 66 C 23/78. Outrigger of the lifting machine [Text] / Buzhenko, V. Ye.; Ryabkov, V. S.; Chernov, A. V.; patent holders Tyumen State Oil and Gas University; № 2005140820/11; declaration 26.12.2005; published 10.08.2007, Bul. № 22. 6 p. (in Russian)
 24. Patent RU 2 059 566 C1 Russian Federation, MPK B 66 C 23/78. Outrigger of the lifting machine [Text] / Molodtsov, V. A.; Korznikov, Ye. P.; Gudkov Yu. I.; Yupatov A. S.; patent holders State Design and Technology Institute for the mechanization of installation and special construction works.; № 93018254/11; declaration 08.04.1993; published 10.05.1996. 8 p. (in Russian)
 25. Patent RU 40 961 U1 Russian Federation, MPK B 60 P 1/00. Lifting machine with pivoting and sliding supports [Text] / Sysolyatin, V. I.; Potyagalov, F. V.; Matveyev O. L.; patent holders Sysolyatin, V. I.; Potyagalov, F. V.; Matveyev O. L.; № 2003104687/22; declaration 19.02.2003; published 10.10.2004. 4 p. (in Russian)
 26. Yarmolinsky, V. A. Mechanism for analyzing machine performance [Text]. In: *Construction machinery and technology*. 2016. № 1–2(117–118). С. 64–69. (in Russian)
 27. Vaynson, A. A. Lifting and transport machines [Text]: textbook for higher education institutions in the specialty «Lifting and transport, construction, road machinery and equipment». 4th ed., revised and supplemented. Moscow: Machine industry, 1989. 536 p. (in Russian)
 28. Bondarev, V. S.; Dubinets, O. I.; Kolisnik, M. P. Lifting and transporting machines: Calculations of lifting and transporting machines [Text]. Textbook. Kiev: Higher school of Economics., 2009. 734 p. (in Ukrainian)
 29. Shyr-Long Jeng; Chia-Feng Yang & Wei-Hua Chieng. Force Measure for Mobile Crane Safety Based on Linear Programming Optimization [Text].

- «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / А. А. Вайнсон. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 536 с.
20. Підійомно-транспортні машини: Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин [Текст] : підручник / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник та ін. – К. : Вища шк., 2009. – 734 с.
 21. Force Measure for Mobile Crane Safety Based on Linear Programming Optimization [Текст] / Shyr-Long Jeng, Chia-Feng Yang & Wei-Hua Chieng // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2010. No. 38, P. 145–170.
 22. Romanello, G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading [Текст] / G. Romanello // *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2018. Vol. 16. No. 6. P. 938–958. (in English)
 23. Kacalak, W.; Budniak, Z.; Majewski, M. Crane stability assessment method in the operating cycle [Текст]. In: *Transport Problems*. 2017. Vol. 12, Iss. 4. P. 141–151.
 24. Kacalak, W.; Budniak, Z.; Majewski, M. Stability Assessment as a Criterion of Stabilization of the Movement Trajectory of Mobile Crane Working Elements [Текст]. In: *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*. 2018. Vol. 23, No. 1. P. 65–77.
 25. Shigehiro, R.; Aguilar, G.; Kuroda, T. Turning performance of outrigger craft in the Philippines [Текст]. In: *UPV Journal of Natural Sciences*. 2001. No. 6. P. 55–68.

Пенчук Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Академик академии ПТМ Украины. Научные интересы: научные основы модернизации строительных машин.

Водолажченко Александр Григорьевич – старший преподаватель кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: машины и оборудование для строительства, содержания и ремонта автомобильных дорог.

Горулёв Алексей Юрьевич – магистрант кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: подъемно-транспортные машины.

Пенчук Валентин Олексійович – доктор технічних наук, професор кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Академік академії ПТМ України. Наукові інтереси: наукові основи модернізації будівельних машин.

Водолажченко Олександр Григорович – старший викладач кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: машини та обладнання для будівництва, утримання і ремонту автомобільних доріг.

Горулєв Олексій Юрійович – магістрант кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підійомно-транспортні машини.

Penchuk Valentine – D. Sc. (Eng.), Professor; Ground Transportation and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Academician of Academy PTM Ukraine. Scientific interests: scientific bases of building machines modernization.

Vodolazhchenko Aleksandr – Senior lecturer, Ground Transportation and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: machinery and equipment for road construction, maintenance and repair.

Gorulyov Alexey – Master's student, Ground Transportation and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: lifting and transport vehicles.