

УДК (UDC) 616.9

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ
ВЫНОСНЫХ ОПОР СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВMETHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF IMPROVED OUTRIGGERS
OF SELF-PROPELLED JIB CRANESСладкова Л.А., Борисов И.К.
Sladkova L.A., Borisov I.K.Российский университет транспорта (Москва, Россия)
Russian University of Transport (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Практика эксплуатации стреловых самоходных кранов свидетельствует о их недостаточной устойчивости в процессе выполнения погрузочно-разгрузочных работ в результате проседания опор в грунт. Свидетельством этого являются аварии кранов в результате их опрокидывания, причем среднестатистические показатели, которых практически не изменяется в течение последних двадцати лет. Существующие методы увеличения опорной поверхности (башмаков) выносных опор отличаются низкой культурой производства и сопряжены с высокими затратами по времени и, как следствие, ведущие к снижению производительности. Предлагаемая принципиально новая разработка выносной опоры стрелового самоходного крана, башмак которой позволяет изменять площадь его опорной поверхности в условиях неравномерного распределения усилий под опорами. Целью работы являются описание конструктивных особенностей, выбор и оценка рабочих положений и методика определения параметров основных элементов конструкции предлагаемой выносной опоры. Полученные зависимости позволяют определять соотношение длин звеньев предлагаемой конструкции и изменять их в зависимости от типа несущей способности грунтов или величины хода штока гидроцилиндра, которая равна ширине раскрытия элементов башмака при увеличении площади их опорной поверхности. Установлено, работа конструкции может осуществляться только в двух положениях башмака. Для увеличения (уменьшения) площади опорной поверхности необходимо менять выдвижение штока гидроцилиндра. Предлагаемая конструкция башмака отличается простотой изготовления, и ремонтпригодности и позволяет повысить устойчивость грузоподъемных кранов, строительных машин и т.д. при погрузочно-разгрузочных и строительных работах.

Ключевые слова: стреловые самоходные краны, выносная опора, шарнирный механизм.

Дата получения статьи: 28.01.2025
Дата принятия к публикации: 01.03.2025
Дата публикации: 25.09.2025

Abstract. The practice of operating self-propelled jib cranes indicates their insufficient stability in the process of loading and unloading operations as a result of subsidence of supports in the ground. Evidence of this is the accidents of cranes as a result of their overturning, and the average statistical indicators of which have practically not changed over the past twenty years. The existing methods of increasing the bearing surface (shoes) of outriggers are characterized by a low production culture and are associated with high time costs and, as a result, leading to a decrease in productivity. The proposed fundamentally new development of the outrigger of a self-propelled jib crane, the shoe of which allows you to change the area of its bearing surface in conditions of uneven distribution of forces under the supports. The purpose of the work is to describe the design features, selection, evaluation of operating positions and the method of determining the parameters of the main structural elements of the proposed outrigger. The obtained dependencies make it possible to determine the ratio of the lengths of the links of the proposed design and change them depending on the type of bearing capacity of soils or the stroke of the hydraulic cylinder rod, which is equal to the width of the opening of the shoe elements with an increase in the area of their supporting surface hydraulic cylinder rod. The proposed shoe design is easy to manufacture and maintainable and allows you to increase the stability of lifting cranes, construction machines, etc. during loading and unloading and construction works.

Keywords: self-propelled jib cranes, outrigger, articulated mechanism.

Date of manuscript reception: 28.01.2025
Date of acceptance for publication: 01.03.2025
Date of publication: 25.09.2025

Сведения об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», Российский университет транспорта,
e-mail: rich.cat2012@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-5409-6250

Борисов Илья Константинович – аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», Российский университет транспорта,
e-mail: ilbor97@yandex.ru.

Authors' information:

Liubov A. Sladkova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Land Transport and Technological Means at Russian University of Transport, *e-mail: rich.cat2012@yandex.ru.*
 ORCID: 0000-0002-5409-6250

Ilya K. Borisov – Postgraduate student, Department of Land Transport and Technological Means at Russian University of Transport, *e-mail: ilbor97@yandex.ru.*

1. Введение

Выносные опоры (аутригеры) – это специальное устройство, устанавливаемое, как правило, на стреловых самоходных кранах и предназначенное для повышения их продольной и поперечной устойчивости при выполнении погрузочно-разгрузочных работ за счет увеличения площади опорной поверхности крана. Однако сама по себе опорная площадь башмака не всегда обеспечивает необходимую устойчивость из-за различия опорных реакций под

башмаками выносных опор даже в режиме статики [1 - 5]. Это положение в большей степени усугубляется в процессе выполнения погрузочно-разгрузочных операций крановым оборудованием, что ведет к опрокидыванию крана.

Уравновешивание реакций под каждой опорой возможно при условии регулирования размера площади башмака под опорой за счет изменения его конструкции и конструкции аутригера (рис. 1).

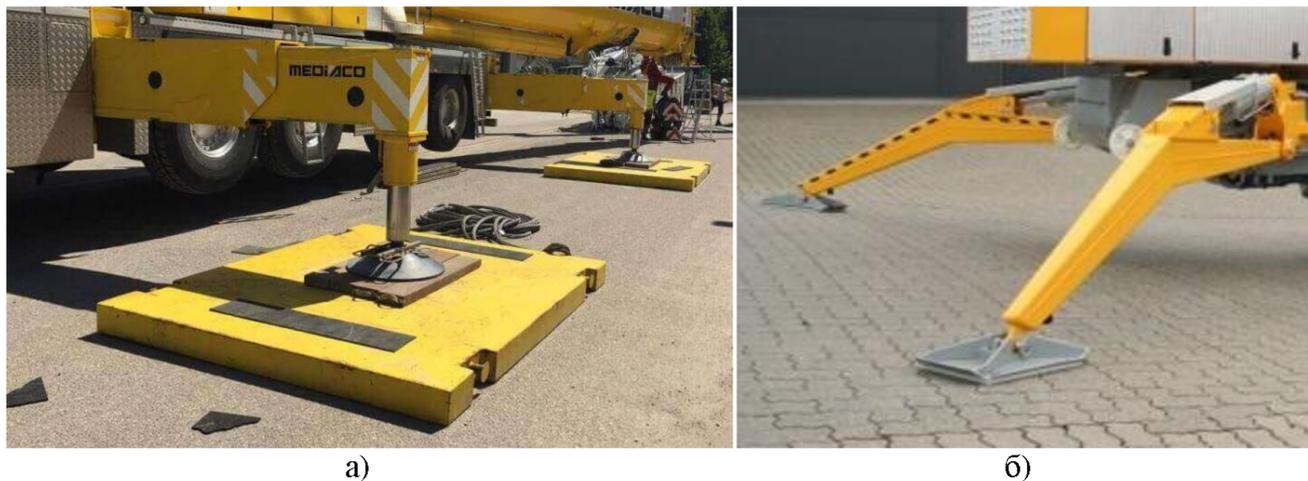


Рис. 1. Аутригеры:
 а – с круглым башмаком; б – с прямоугольным башмаком

На рис. 1 видно, что в процессе работы кран вывешивается на выносных опорах. Это свойство будет учтено при усовершенствовании конструкции аутригера и его башмака.

Предлагаемые авторами [6 - 8] конструктивные решения, выполненные в этом направлении, имеют определенные

недостатки, связанные со сложностью конструкции, высокой конструктивной преемственностью из-за большого числа образующих звеньев (элементов) и недостаточной площадью опорной поверхности в результате чего под них дополнительно укладываются, как правило, деревянные щиты (рис. 1, а), либо

устанавливаются на жестком основании (рис. 1, б).

2. Конструкция выносной опоры и методика определения ее параметров

Предлагаемое техническое решение по усовершенствованию выносных опор стреловых самоходных кранов позволяет повысить устойчивость при погрузочно-разгрузочных и строительных работах.

Конструкция аутригера (рис. 2, а) состоит из гидроцилиндра 2 со штоком



Рис. 2. Конструкция аутригера:
а – шарнирно-сочлененная схема; б – вид сверху на башмак

Принцип работы устройства следующий. При выдвигании штока 1 гидроцилиндра 2, происходит перемещение стержня 7 вместе с башмаком 3 из положения I в положение II, которое указано пунктиром (рис. 2). При этом составные части 4 опоры 3 раздвигаются на расстояние, исходя из условия отсутствия проникновения грунта между двумя близлежащими поверхностями [9].

В процессе работы выносной опоры считаем, что башмак свое последующее положение при условии неизменности длины стержня 7 будет занимать, не отклоняясь от горизонтали (рис. 3) и обеспечивая устойчивое положение крана.

Для этого рассмотрим работу предлагаемого механизма в двух расчетных положениях, которые будем считать общими (рис. 3), причем изменение происходит в

(направляющей) 1 – основной опоры, на котором шарнирно закреплен стержень 7, который на свободном конце содержит шарнирно соединенный с ним башмак 3. На стержне 7 между шарнирами 8 и 6 расположен ползун 9, шарнирно закрепленный шарниром 10 на неподвижной опоре 11. Опора башмака 3 выполнена из равных частей 4, на каждой оси симметрии 5 которых расположен шарнир 6, соединенный со стержнем 7 (рис. 2, б).

прямоугольной системе координат. В точке O расположена опора 11 с шарниром 10. Введем условные обозначения: A_{max} – расстояние, соответствующее начальному положению штока 1, при сложенной конструкции башмака 3, м; A_{min} – конечное положение штока 1, соответствующее полному раскрытию конструкции башмака 3, м; c – ход штока 1 при полном раскрытии башмака, м; a – величина раскрытия конструкции башмака 3, соответствующее расстоянию между соседними элементами 4 конструкции башмака 4 при полном его раскрытии из условия непротекания грунта между элементами, м; α – угол между начальным и конечным положением элемента 7, град; β – угол между элементом 7 в начальном положении и вертикалью, град; L – длина стержня 7, м; $O(x; y)$ – координаты неподвижной опоры 11,

координата ползуна 9, координата шарнира 10; l_1 – длина части элемента 7 в начальном положении, расстояние между шарниром 8 и шарниром 10, м; l_2 – длина части элемента 7 в начальном положении, расстояние между шарниром 10 и шарниром 6, м; l_3 – длина

части элемента 7 в конечном положении, расстояние между шарниром 8 и шарниром 10, м; l_4 – длина части элемента 7 в конечном положении, расстояние между шарниром 10 и шарниром 6, м; d – начальный диаметр башмака, м.

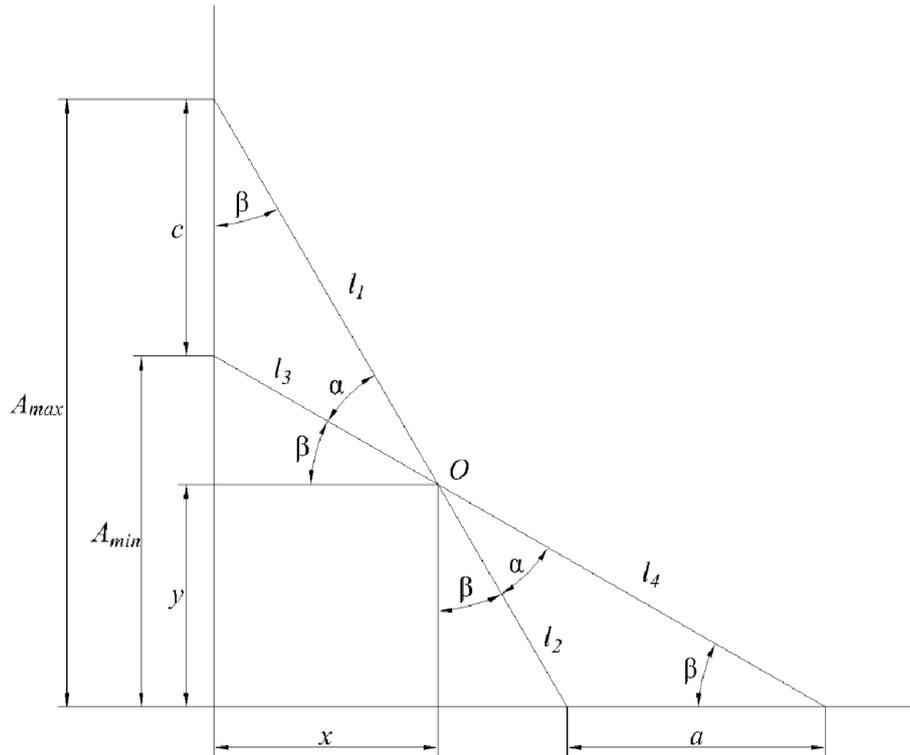


Рис. 3. Положения выносной опоры

Из тригонометрических соотношений (рис. 3):

$$A_{max} = x \operatorname{tg}(\alpha + \beta) + y = l_1 \sin(\alpha + \beta) + y; \quad (1)$$

$$A_{min} = x \operatorname{tg} \beta + y = l_3 \sin \beta + y.$$

Из условия проектирования шарнирно-сочлененного механизма:

$$l_1 + l_2 = L; \quad (2)$$

$$l_3 + l_4 = L. \quad (3)$$

Учитывая рис. 3:

$$l_4 = \frac{y}{\cos(\alpha + \beta)}. \quad (4)$$

Используя зависимости (3) и (4), выразим l_3

$$l_3 = L - \frac{y}{\cos(\alpha + \beta)}. \quad (5)$$

Используя равенства (2) и (3), получим:

$$x \operatorname{tg} \beta + y = l_3 \sin \beta + y. \quad (6)$$

Подставив выражение (6) в (5), определим:

$$x \operatorname{tg} \beta + y = \quad (7)$$

$$= \left(L - \frac{y}{\cos(\alpha + \beta)} \right) \sin \beta + y.$$

Откуда

$$x \cdot \operatorname{tg} \beta = \left(L - \frac{y}{\cos(\alpha + \beta)} \right) \sin \beta.$$

Разделив левую часть выражения на правую, получим

$$\frac{x \cdot \operatorname{tg} \beta}{\left(L - \frac{y}{\cos(\alpha + \beta)} \right) \sin \beta} = 1. \quad (8)$$

Откуда определим величину x :

$$x = L \cos \beta - \frac{y \cos \beta}{(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)}. \quad (9)$$

В этом выражении, исходя из конструкции механизма, величина $\cos \beta \neq 0$. После преобразования выражения (9) получим:

$$\frac{x}{\cos \beta} = L - \frac{y}{\cos(\alpha + \beta)}. \quad (10)$$

Зная, что (рис. 3)

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{x}{l_1}. \quad (11)$$

Подставив выражение (11) в (8), получаем:

$$\frac{x \cdot \operatorname{tg} \beta}{\left(L - \frac{yl_1}{x}\right) \sin \beta} = 1. \quad (12)$$

Откуда после почленного умножения выражения (12) на x , получим:

$$x^2 = \cos \beta (Lx - yl_1). \quad (13)$$

Выразив y через x , получим уравнение второго порядка:

$$y = \frac{Lx}{l_1} - \frac{x^2}{l_1 \cos \beta}. \quad (14)$$

Для простоты преобразований введем параметр $\lambda = L / l_1$. Тогда с учетом зависимости (12) получим:

$$y = \lambda x - \frac{x^2}{l_1 \cos \beta}. \quad (15)$$

Далее, используя рис. 3, определим величину раскрытия a конструкции башмака 3:

$$a = L(\cos \beta - \sin \beta). \quad (16)$$

Зависимости (1) и (3) подставим в уравнение (14). Величина раскрытия элементов 4 башмака 3 определяется многопараметрическим уравнением, зависящим от координирования неподвижной опоры с центром в точке O . Откуда

$$y = x = l_1 \sin \beta = L \frac{\sin \beta \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta}. \quad (17)$$

$$l_1 = L \frac{\cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta}. \quad (18)$$

Используя зависимость (18), получим:

$$\frac{L}{l_1} = \lambda = 1 + \operatorname{tg} \beta. \quad (19)$$

Графическая интерпретация выражений (19) имеет вид (рис. 4):

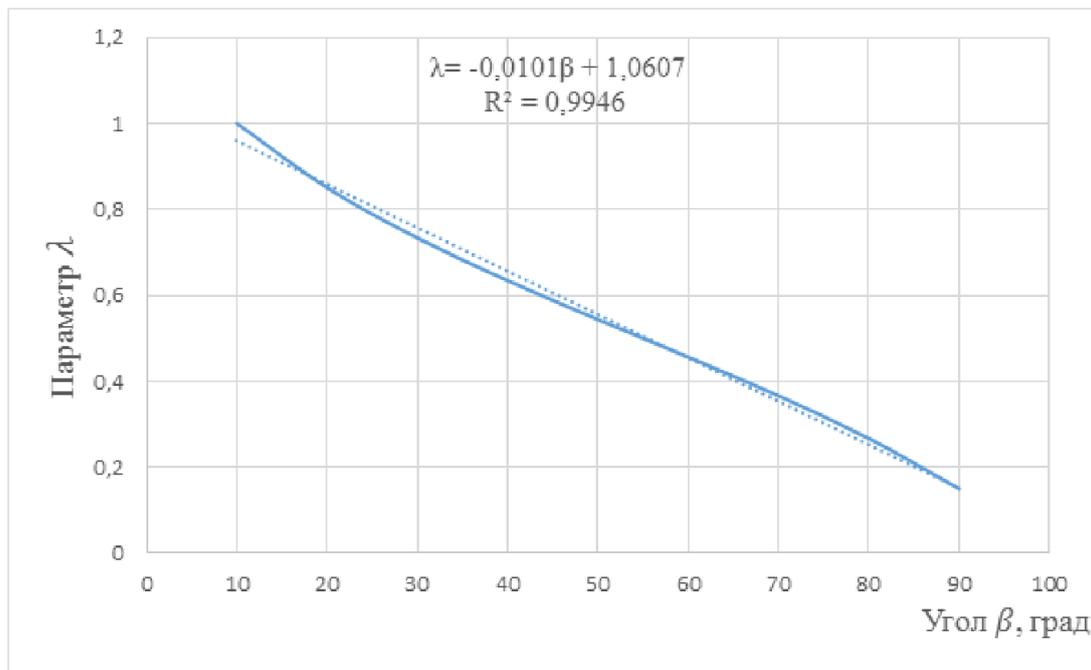


Рис. 4. Изменение отношения параметра λ от угла β

Компьютерная обработка позволила установить, что выражение (19) с доверительной вероятностью 0,95 при коэффициенте рассеяния $R^2 = 1$ можно заменить соотношением:

$$\lambda = -0,0101\beta + 1,0607. \quad (20)$$

Полученное уравнение позволяет определять:

- положение опоры 11 в зависимости от соотношения длин звеньев;

- угол раскрытия опоры α в зависимости от хода штока.

3. Анализ параметров конструкции

Очевидно, что при положении опоры II на одинаковом расстоянии от вертикали и горизонтали, т.е. при условии, что положение неподвижной опоры в точке O возможно, если $x = y$, а перемещение штока гидроцилиндра s равно ширине раскрытия a элементов башмака (рис. 1 и 2).

На рис. 5 видно, что для прямолинейного перемещения существует всего два положения при выносе башмака аутригера предлагаемой конструкции в зависимости от изменения угла β , величина которого зависит

от указанных параметров, так как они имеют прямо пропорциональную зависимость (20). Работа конструкции может осуществляться только в двух положениях башмака и для увеличения (уменьшения) площади опорной поверхности необходимо менять выдвигание штока гидроцилиндра [10, 11].

Сказанное выше подтверждается графо-аналитическим построением, положений точек перемещения башмака выносных опор (рис. 5, а).

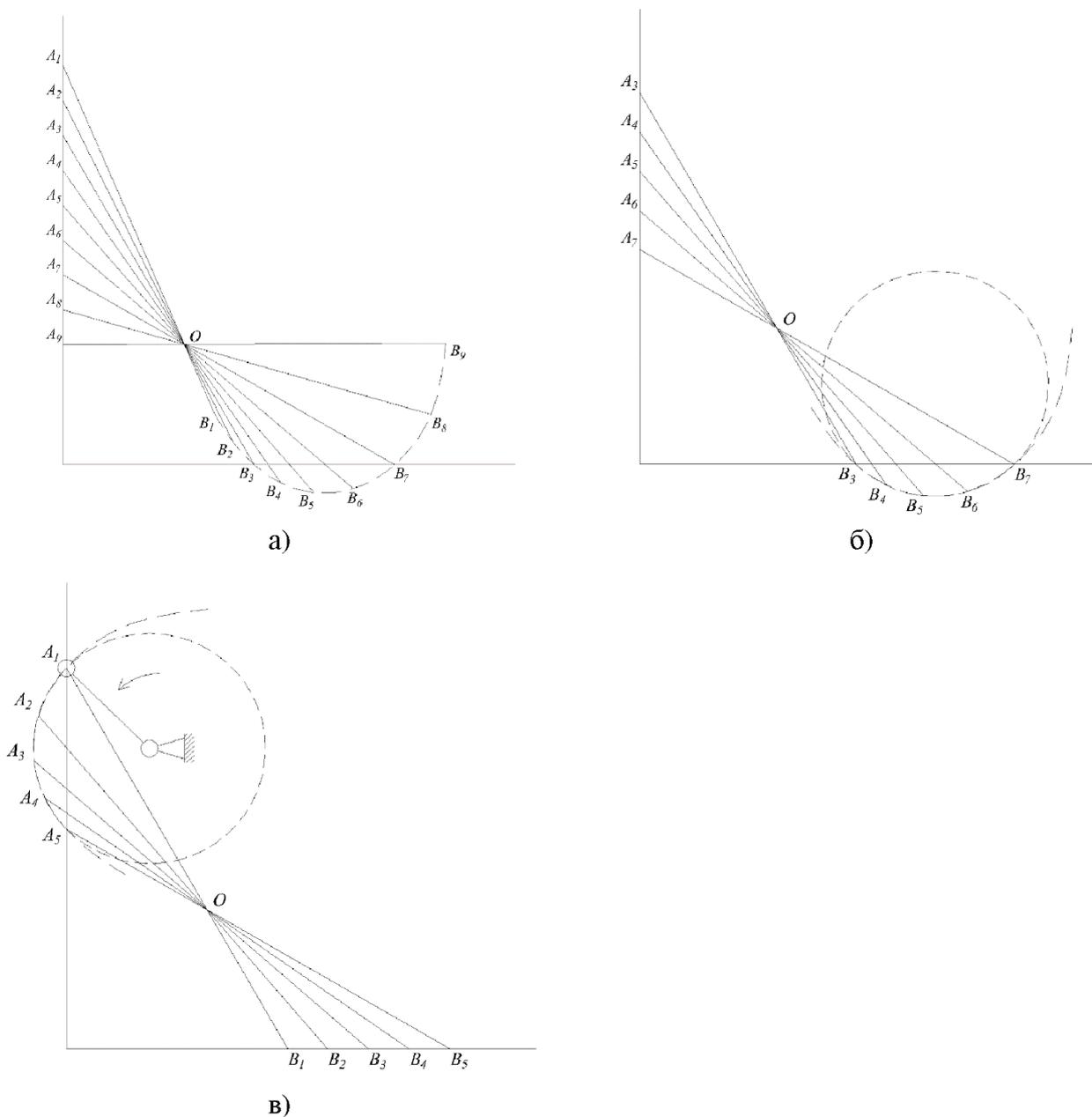


Рис. 5. Траектория перемещения точек выносных опор: а – расчетная схема; б – при прямолинейном перемещении по вертикальной оси; в – при прямолинейном перемещении по горизонтальной оси

На рис. 5, в видно, что при прямолинейном перемещении башмака по горизонтали, верхняя его часть выходит за пределы вертикальной линии, что потребует перемещения направляющей гидроцилиндра. Если оставить без изменения положения направляющей, башмак будет располагаться

ниже уровня опорной поверхности, либо «зависать» в воздухе (рис. 5, б).

Для устранения указанного недостатка можно использовать шатунно-поршневой механизм [12], что потребует введения кривошипа с отбором мощности от отдельного двигателя.

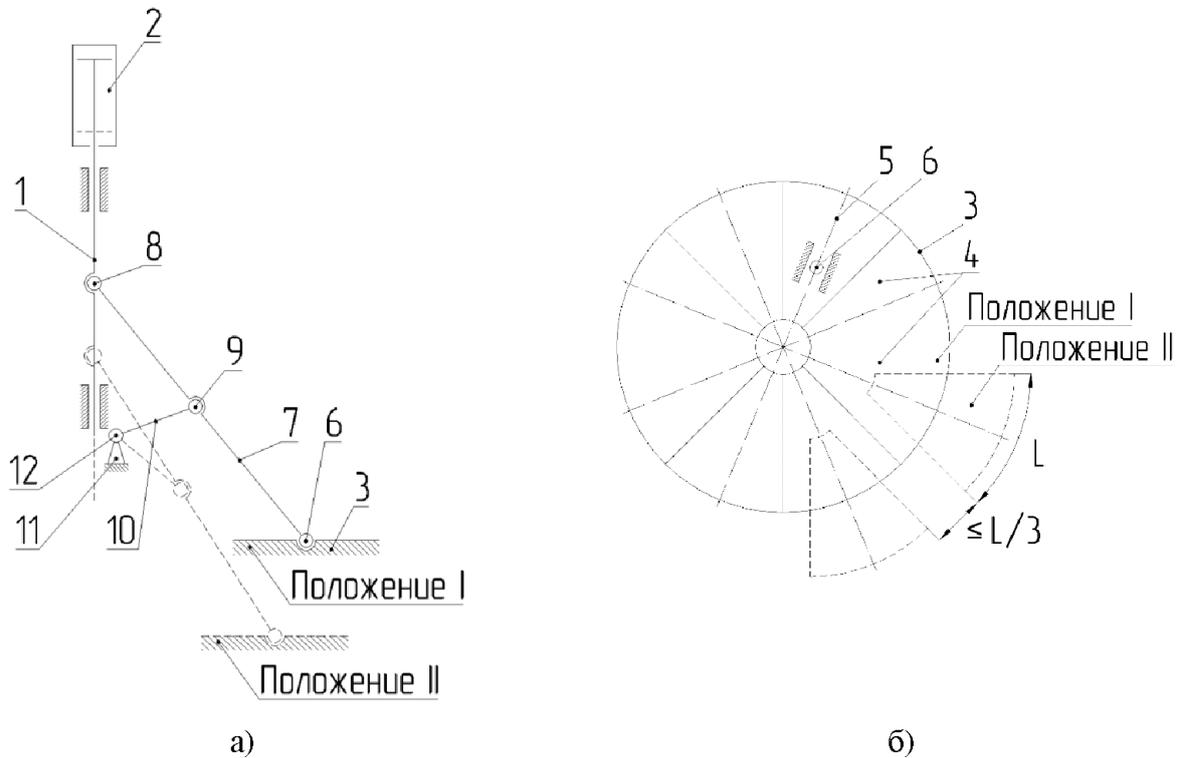


Рис. 6. Конструкция аутригера:

а – шарнирно-сочлененная схема; б – вид сверху на башмак

Либо предлагается конструкция, показанная на рис. 6. Устройство (рис. 6), содержащее направляющую 1, устройство перемещения 2 опоры 3 на направляющей 1, при этом опора 3 выполнена из равных частей 4, на каждой оси симметрии 5 которых расположен шарнир 6, соединенный со стержнем 7, свободный конец которого шарнирно соединен с направляющей 1 шарниром 8. На стержне 7 между шарнирами 8 и 6 расположен шарнир 9, шарнирно соединенный со стержнем 10, свободный конец которого соединен с неподвижной опорой 11 шарниром 12. При этом расстояние между составными частями 4 опоры 3 не превышает $L/3$ длины наиболее удаленной от центра части 4 опоры 3, условие которого основано на условии

непротекания грунта между двумя близлежащими поверхностями.

4. Заключение

Рассматриваемое техническое решение позволяет повысить устойчивость грузоподъемных кранов, строительных машин и т.д. при погрузочно-разгрузочных и строительных работах за счет изменения площади опорной поверхности под башмаком аутригера. Методика определения параметров усовершенствованных выносных опор стреловых самоходных кранов, основанная на основных положениях теоретической механики, теории механизмов и машин позволила определить основные геометрические соотношения между элементами конструкции, выбрать

рациональное положение для обеспечения требуемой устойчивости исходя из размеров выдвижения штока механизма перемещения башмака аутригера и условия непротекания грунта между раздвигаемыми лепестками предлагаемой конструкции. Для обеспечения

Список литературы

1. Григорьев П.А., Сладкова Л.А., Крылов В.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование изменения усилий в опорах стрелового самоходного крана // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. №2. С.43-52.
2. Сладкова Л.А., Григорьев П.А., Крылов В.В. Моделирование усилий в опорах машин основного технологического назначения на примере стрелового самоходного крана // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №4. С.516-522.
3. Гуляев Ф.А., Батищев Г.А., Емельянова Г.А., Куликова Е.В. К вопросам обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов при учете различных аспектов их эксплуатации // В сборнике: XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2019). 2020. С. 581-584.
4. Сладкова Л.А., Григорьев П.А., Крылов В.В., Трошко И.В. Грузоподъемные машины и оборудование. М.: РУТ (МИИТ). 2020. 40 с.
5. Горелова М.В. Мехатронная система управления для автоматической стабилизации стрелового самоходного крана при ненормируемых внешних воздействиях: дисс.... канд.техн.наук 2.5.2. Машиноведение, М.: РУТ, 2023. 186 с.
6. Марысев Б.К. Патент SU 545 564 A1, МПК В66С23/78. Выносная опора грузоподъемного крана: Опубликовано 05.02.1977, Бюл. № 5.
7. Акимов В.Н., Апальков Д.В., Голубев Б.М., Марданов Р.Д., Мокшин В.С., Оконьский А.Б., Сагдеев К.Б., Тилипан И.Г., Шачнев В.Т. Патент RU 2116210 C1.

прямолинейного перемещения башмака предложен вариант использования шатунно-поршневого механизма за счет включения в предлагаемую схему механизма дополнительного кривошипа.

References

1. Grigoriev P.A., Sladkova L.A., Krylov V.V. Theoreticheskoe i experimentalnoe obosnovanie izmeneniya usilii v oporakh strelovogo samokhodnogo kрана. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, No. 2, pp. 43-52. (In Russian)
2. Sladkova L.A., Grigoriev P.A., Krylov V.V. Modelirovanie usilii v oporakh mashinakh osnovnogo tekhnologicheskogo naznacheniya na primere strelovogo samokhodnogo kрана. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019. 4. Pp. 516-522. (In Russian)
3. Gulyaev F.A., Batishchev G.A., Emelyanova G.A., Kulikova E.V. K voprosam obespecheniya ustoychivosti streloveykh samokhodneykh kранov pri uchiye razlichnykh aspektov ikh ekspluatatsii. In: *Sbornik XXXI Mezhdunarodnoy innovatsionnoy konferentsii molodykh uchennykh i studentov po problemam mashinovedeniya (MIKMUS - 2019)*, 2020, pp. 581-584. (In Russian)
4. Sladkova L.A., Grigoriev P.A., Krylov V.V., Troshko I.V. *Gruzopodiemnye mashinye i oborudovanie* [Lifting machines and equipment]. Moscow, RUT (MIIT), 2020. 40 p. (In Russian)
5. Gorelova M.V. *Mechatronnaya Sistema upravleniya dlya avtomaticheskoy stabilitsii strelovogo samokhodnogo kрана pri nenormiruemykh vneshnikh vozdeystviakh: Diss.... Ph.D. 2.5.2 Mashinovedenie*. Moscow, RUT, 2023. 186 p. (In Russian)
6. Marysev B.K. Patent SU 545 564 A1, IPC B66C23/78. *Vynosnaya opora gruzopodiemnogo kрана: Opublikovano 05.02.1977*, Byul. No. 5. (In Russian)
7. Akimov V.N., Apalkov D.V., Golubev B.M., Mardanov R.D., Mokshin V.S., Okon'skiy A.B., Sagdeev K.B., Tilipan I.G., Shachnev V.T. Patent RU 2116210 C1. *Autrigger*.

