

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕТАЛООБРОБКА

УДК 621.875

Суглобов В.В.¹, Михеев В.А.², Тищенко Е.В.³

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛЫ И ХОБОТА ШАРНИРНО – СОЧЛЕНЕННОЙ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

Предложены практические рекомендации по определению геометрических параметров стрелы и хобота шарнирно – сочленённой стреловой системы порталного крана с использованием программного пакета Mathcad 14.

Ключевые слова: порталный кран, стреловая система, стрела, хобот, вылет стрелы, высота подъёма груза.

Суглобов В.В., Михеев В.А., Тищенко К.В., Визначення геометричних параметрів стріли та хоботу шарнірно – зчленованої стрілової системи порталного крана. Запропоновано практичні рекомендації з визначення геометричних параметрів стріли та хоботу шарнірно - зчленованої стрілової системи порталного крана з використанням програмного пакета Mathcad 14.

Ключові слова: порталний кран, стрілова система, стріла, хобот, виліт стріли, висота підйому вантажу.

V.V. Suglobov, V.A. Mikheev, E.V. Tishchenko. Determination of geometric parameters of the boom and trunk hinge - articulated boom portal crane system. Practical recommendations for the definition of geometric parameters of the boom and trunk hinge - articulated boom portal crane system using the software package Mathcad 14.

Keywords: portal cranes, boom system, boom, trunk, boom, lift cargo.

Постановка проблемы. В структуре грузооборота морских и речных портов Украины очевидна потребность в эффективных, надёжных, универсальных грузоподъёмных машинах, а именно – в порталных кранах, которые являются одними из наиболее распространённых средств механизации, выполняющих до 70 % объёма погрузо – разгрузочных работ.

Существенное влияние на конструктивные и эксплуатационные свойства порталных кранов оказывает тип стреловой системы. Анализ известных стреловых устройств показывает, что наибольшее распространение получили шарнирно–сочленённые стреловые системы (ШСС) с прямым хоботом и жёсткой оттяжкой. Определение конструктивных параметров этих систем является важной и достаточно сложной задачей при их проектировании.

Анализ последних исследований и публикаций. Научно – практические аспекты определения конструктивных параметров ШСС исследованы во многих научных работах. Весомый вклад в решение этой проблемы внесли А.И. Дукельский, Б.Е. Горский, М.М. Гохберг, Г.П. Ксюнин, А.Г. Ланг, В.П. Мисюра, В.А. Михеев, П.З. Петухов, Л.Г. Серлин, В.И. Стрелов. По мнению ученых, конструктивные параметры ШСС нельзя рассчитывать приближенно, так как неточности расчёта не компенсируют друг друга, а накладываясь одна на другую, в несколько раз увеличивают допущенную погрешность.

Известные методы расчёта [1, 2, 3] геометрических параметров ШСС порталных кранов имеют ряд недостатков.

Так, графические методы требуют неоднократного построения кинематической схемы ШСС для подбора её геометрических параметров, что увеличивает трудоёмкость изготовления порталных кранов.

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Основными недостатками графоаналитических методов является многократное графическое построение ШСС с использованием аналитических уравнений, которые получены в неявно выраженном виде. Решение этих уравнений выполняется путём подбора определяемого параметра, что снижает точность расчётов.

Аналитические методы выполняются «ручным» способом [2], что так же достаточно трудоёмко. При получении неудовлетворительных результатов необходимо повторять расчёт до удовлетворения заданных требований к стреловой системе порталного крана [3].

Перечисленные методы не позволяют автоматизировать процесс проектирования с использованием ЭВМ [4]. Поэтому наиболее перспективным и рациональным методом является автоматизированный синтез параметров стреловых систем [5], позволяющий оптимизировать параметры ШСС по критериям металлоёмкости, энергоёмкости, маневренности, надёжности, экономичности с высокой точностью при минимальных затратах времени. Однако данный метод [5] не даёт рекомендаций по выбору входных данных для автоматизированного проектирования ШСС, что усложняет определение её геометрических параметров.

Цель статьи – упрощение методики определения геометрических параметров стрелы и хобота как входных данных для автоматизированного проектирования конкретной стреловой системы по методу [5].

Изложение основного материала. При проектировании стреловой системы (рис. 1) порталного крана общепринятым является следующий набор исходных данных: максимальный рабочий вылет стрелы – L_{max} ; минимальный рабочий вылет стрелы – L_{min} ; высота подъёма груза – H_n ; высота конца хобота над осью качания стрелы – H ; расстояние от оси вращения колонны до точки крепления стрелы – d принимают равным 1,5 – 2 м.

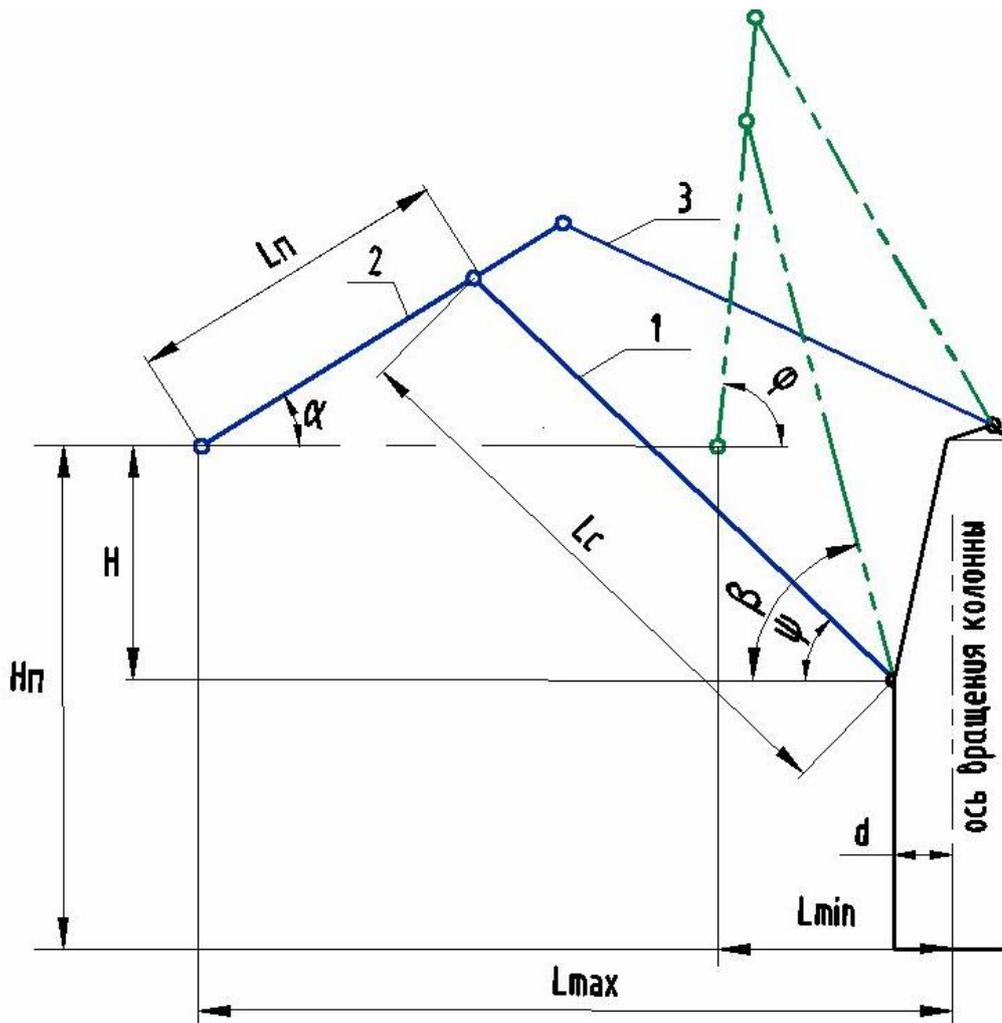


Рис. 1 – Кинематическая схема шарнирно – сочленённой стреловой системы (ШСС) порталного крана: 1 – стрела; 2 – хобот; 3 – оттяжка

Важным этапом процесса проектирования конкретной стреловой системы является определение исходных геометрических параметров стрелы и хобота, которые принимаются как входные данные при автоматизированном синтезе стреловой системы.

Рекомендации по определению геометрических параметров стрелы и хобота, приведенные в работах [3, 6], достаточно громоздки для вычислений, что усложняет процесс проектирования.

При компоновке кинематической схемы ШСС диапазон изменений геометрических параметров её элементов достаточно велик, что затрудняет работу по принятию параметров стрелы и хобота. Использование представленных в данной работе зависимостей и графиков облегчает выбор входных данных для автоматизированного проектирования конкретной стреловой системы.

Исследование параметров ШСС (рис. 1) целесообразно проводить в относительных единицах. Введем следующие обозначения:

$$p_1 = \frac{H_n}{L_{max}}, \quad (1)$$

где H_n – высота подъёма груза;

L_{ma} – максимальный вылет стрелы.

По условиям компоновки принимаем $H_n \approx 2 \cdot H$.

$$p_2 = \frac{L_n}{L_{\tilde{n}}}, \quad (2)$$

где L_n – длина переднего плеча хобота;

L_c – длина стрелы.

$$p_3 = \frac{L_n}{L_{max}}; \quad (3)$$

$$p_4 = \frac{L_c}{L_{max}}. \quad (4)$$

В связи с тем, что расстояние от оси вращения колонны до точки крепления стрелы d является постоянной величиной, то на основании известных методов расчёта стреловых систем [3], параметры ШСС (рис. 1) могут быть описаны с помощью следующих выражений:

$$H = L_{\tilde{n}} \cdot \sin \psi - L_n \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

где H – высота конца хобота над осью качания стрелы.

$$L_{max} = L_c \cdot \cos \psi + L_n \cdot \cos \alpha; \quad (6)$$

$$L_c = \frac{H \cdot (\sin \alpha - \sin \varphi)}{\sin \beta \cdot \sin \alpha - \sin \psi \cdot \sin \varphi}; \quad (7)$$

$$L_n = \frac{H \cdot (\sin \psi - \sin \beta)}{\sin \beta \cdot \sin \alpha - \sin \psi \cdot \sin \varphi}, \quad (8)$$

где α, φ – углы наклона хобота при максимальном вылете и минимальном вылете стрелы соответственно;

β, ψ – углы наклона стрелы при максимальном вылете и минимальном вылете стрелы соответственно.

Для исследования влияния максимального вылета на основные геометрические параметры ШСС разработана программа построения графиков зависимостей $p_3 = f(p_1)$, $p_4 = f(p_1)$ с помощью программного пакета Matchcad 14.

Подставляя в выражение (2) значения L_c, L_n из (7), (8), получим:

$$p_2 = \frac{\sin \psi - \sin \beta}{\sin \alpha - \sin \varphi}. \quad (9)$$

На основании равенства левых частей уравнений (2) и (9), получим следующее выражение:

$$\frac{L_n}{L_c} = \frac{\sin \psi - \sin \beta}{\sin \alpha - \sin \varphi}. \quad (10)$$

Подставляя в выражение (3) значение L_{max} из (6), получим:

$$p_3 = \frac{L_n}{L_c \cdot \cos \psi + L_n \cdot \cos \alpha}. \quad (11)$$

После подстановки значения L_c из (10) в (11), выражение примет следующий вид:

$$p_3 = \frac{L_n}{L_n \cdot \frac{\sin \alpha - \sin \varphi}{\sin \psi - \sin \beta} \cdot \cos \psi + L_n \cdot \cos \alpha}. \quad (12)$$

Выполнив соответствующие математические преобразования выражения (12), получим:

$$p_3 = \frac{\sin \psi - \sin \beta}{\cos \psi (\sin \alpha - \sin \varphi) + \cos \alpha (\sin \psi - \sin \beta)}. \quad (13)$$

Подставляя в выражение (4) значение L_{max} из (6), получим:

$$p_4 = \frac{L_c}{L_c \cdot \cos \psi + L_n \cdot \cos \alpha}. \quad (14)$$

После подстановки значения L_n из (10) в (14), выражение примет следующий вид:

$$p_4 = \frac{L_c}{L_c \cdot \cos \psi + L_c \cdot \frac{\sin \psi - \sin \beta}{\sin \alpha - \sin \varphi} \cdot \cos \alpha}. \quad (15)$$

Выполнив соответствующие математические преобразования выражения (15), получим:

$$p_4 = \frac{\sin \alpha - \sin \varphi}{\cos \psi (\sin \alpha - \sin \varphi) + \cos \alpha (\sin \psi - \sin \beta)}. \quad (16)$$

С другой стороны, p_3 и p_4 можно выразить через параметр p_1 .

С учетом требований компоновки $Hn \approx 2 \cdot H$, подставляя в (1) выражение (3) и выражение (4), соответственно получим:

$$p_3 = p_1 \frac{L_n}{2 \cdot H}; \quad (17)$$

$$p_4 = p_1 \frac{L_c}{2 \cdot H}. \quad (18)$$

Подставляя в выражение (17) значение L_n из (8), а в выражение (18) значение L_c из (7), получим:

$$p_3 = p_1 \frac{(\sin \psi - \sin \beta)}{2(\sin \beta \cdot \sin \alpha - \sin \psi \cdot \sin \varphi)}; \quad (19)$$

$$p_4 = p_1 \frac{\sin \alpha - \sin \varphi}{2(\sin \beta \cdot \sin \alpha - \sin \psi \cdot \sin \varphi)}. \quad (20)$$

Исходя из рекомендаций, представленных в источниках [3], [6], представим в табл. 1 диапазоны изменения углов α , φ , ψ , β .

Зная диапазоны изменения углов (табл. 1) и используя выражения (13), (16), (19), (20), можно рассчитать при помощи программного пакета Mathcad 14 значения относительных параметров p_1 , p_3 , p_4 и построить графики приведенных зависимостей.

Соответствующие графики $p_3 = f(p_1)$ и $p_4 = f(p_1)$ представлены на рис. 2.

На основании приведенных зависимостей и графиков, можно определить основные геометрические параметры стрелы и хобота – L_n и L_c .

Таблица 1

Рекомендуемые диапазоны изменения углов $\alpha, \varphi, \Psi, \beta$

Обозначение угла	Минимальное значение угла	Максимальное значение угла
α	10°	35°
φ	70°	85°
Ψ	30°	45°
β	70°	80°

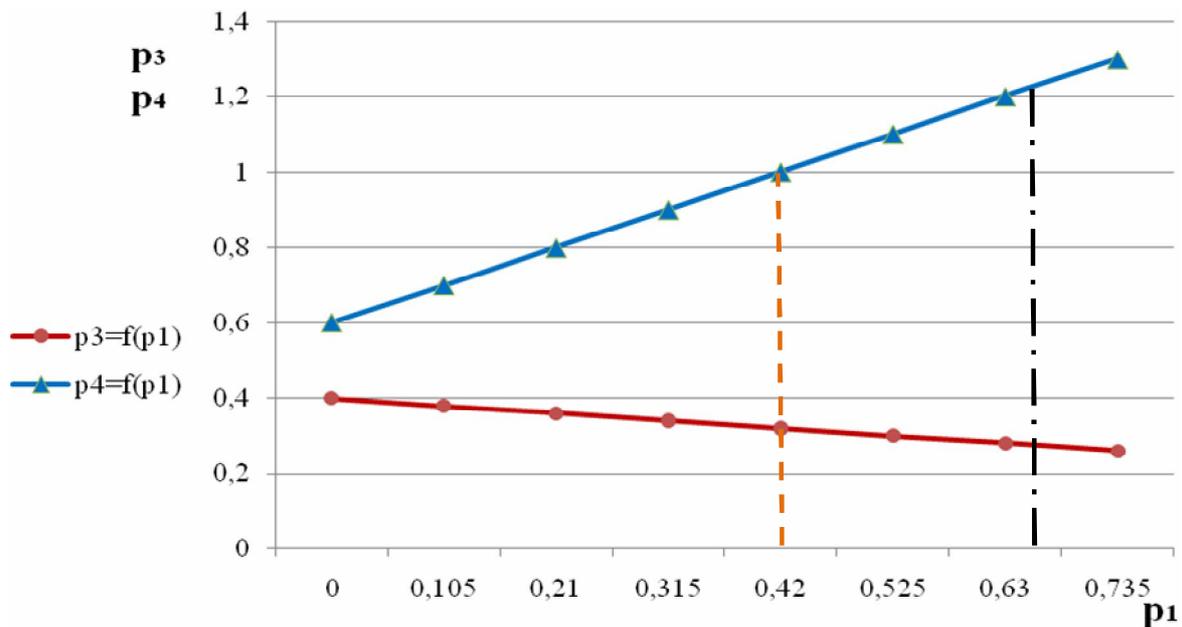


Рис. 2 – График зависимостей $r_3=f(p_1), r_4=f(p_1)$: p_1 – отношение высоты подъёма груза к максимальному вылету стрелы; r_3 – отношение длины переднего плеча хобота к максимальному вылету стрелы; r_4 – отношение длины стрелы к её максимальному вылету

В качестве примера рассмотрим:

а) порталный кран КПП – 40–36–10,5 с высотой подъёма груза $H_n = 18$ м и максимальным вылетом стрелы $L_{max} = 36$ м.

Из уравнения (1):

$$p_1 = \frac{H_n}{L_{max}} = \frac{18}{36} = 0,5.$$

Относительные параметры r_3 и r_4 определяем по графикам зависимостей $r_3=f(p_1)$ и $r_4=f(p_1)$ (рис. 2). При $p_1=0,5$ – $r_3=0,35, r_4=1$.

Подставив в уравнения (3) и (5) полученные значения r_3 и r_4 , определяем длину переднего плеча хобота $L_n = 12,6$ м и длину стрелы $L_c = 36$ м.

б) порталный кран КПП – 16–36–10,5 с высотой подъёма груза $H_n = 25$ м и максимальным вылетом стрелы $L_{max} = 36$ м.

Из уравнения (1):

$$p_1 = \frac{H_n}{L_{max}} = \frac{25}{36} = 0,694.$$

Относительные параметры p_3 и p_4 определяем по графикам зависимостей $p_3 = f(p_1)$ и $p_4 = f(p_1)$ (рис. 2). При $p_1 = 0,694$ – $p_3 = 0,26$, $p_4 = 1,22$.

Подставив в уравнения (3) и (5) полученные значения p_3 и p_4 , определяем длину переднего плеча хобота длину переднего плеча хобота $L_n = 9,36$ м и длину стрелы $L_c = 43,92$ м.

Полученные результаты геометрических параметров стрелы и хобота ШСС порталного крана представим в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения геометрических параметров стрелы и хобота

Модель крана	Исходные данные		Полученные геометрические параметры	
	L_{max} , м	H_n , м	L_c , м	L_n , м
КПП – 40–36–10,5	36	18	36	12,6
КПП – 16–36–10,5	36	25	43,92	9,36

Анализ проведенных исследований показывает, что длина переднего плеча хобота уменьшается, длина стрелы увеличивается с увеличением высоты подъема груза. Кроме того, на основании приведенных в данной работе зависимостей установлено, что существенное влияние на геометрические параметры ШСС порталного крана оказывает угол наклона стрелы и угол наклона хобота.

Выводы

1. Предложена упрощенная методика определения геометрических параметров стрелы и хобота как входных данных для автоматизированного проектирования ШСС по методу [5].
2. В работе представлено исследование геометрических параметров стрелы и хобота порталного крана в виде наглядных графиков и зависимостей, что облегчает выбор входных данных для автоматизированного проектирования конкретной стреловой системы.
3. Результаты проведенных исследований могут служить основой для дальнейшей разработки программы оптимизации стреловой системы и системы уравнивания кранов по критериям качества и функциональным ограничениям.

Список использованных источников

1. Дукельский А.И. Портовые грузоподъемные машины / А.И. Дукельский – Л.: Транспорт, 1970. – 439 с.
2. Горский Б.Е. Шарнирно – сочлененные укосины порталных кранов / Б.Е. Горский – М.: Машгиз, 1965. – 185 с.
3. Стрелов В.И. Расчёт шарнирных стреловых систем порталных кранов / В.И. Стрелов – Калуга: Облиздат, 1998. – 188 с.
4. Михеев В.А., Власов В.Т. Специальные краны / В.А. Михеев, В.Т. Власов – Мариуполь: ПГТУ, 2004. – 424 с.
5. Мисюра В.П., Михеев В.А. Автоматизированный синтез параметров стреловых систем порталных кранов / В.П. Мисюра, В.А. Михеев // Підійомно – транспортна техніка: Зб. наук.пр. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. №4. – С. 8-12.
6. Петухов П.З., Ксюнин Г.П., Серлин Л.Г. Специальные краны: уч. Пособие / П.З. Петухов, Г.П. Ксюнин, Л.Г. Серлин – М: Машиностроение, 1985. – 239 с.

Рецензент: А.А. Ищенко
 д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 21.03.11.