

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВХОДНЫХ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЁТА, СИНТЕЗА И
ОПТИМИЗАЦИИ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ
УРАВНОВЕШИВАНИЯ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА**

Постановка проблемы. Основным средством механизации погрузочно-разгрузочных работ в морских и речных портах, на судоремонтных заводах являются порталные краны. Как показала практика их создания и эксплуатации, наиболее совершенной конструкцией является кран с шарнирно-сочленённой четырёхзвенной стреловой системой с прямым хоботом (СС) и системой уравновешивания стрелы (СУ).

Определение конструктивных параметров СС и СУ является важной и сложной задачей при их проектировании. Эта проблема исследована во многих научных работах. Весомый вклад в решение этой проблемы внесли Б.Е. Горский, А.И. Дукельский, В.С. Ловейкин, В.П. Мисюра, В.А. Михеев, П.З. Петухов Л.Г. Серлин, В.И. Стрелов. По мнению учёных, конструктивные параметры СС и СУ нельзя рассчитывать приближенно, так как неточности расчёта не компенсируют друг друга, а накладываясь одна на другую, в несколько раз увеличивают допущенную погрешность.

Большое количество работ посвящено теоретическим исследованиям кинематики работы СС и СУ, созданию математического аппарата для описания их работы, рассмотрению методов и ряда программ синтеза этих систем. В многочисленных работах подчеркивается, что качество шарнирно-сочленённой стреловой системы (ШСС) находится в неразрывной связи с качеством синтеза собственно СС и качеством синтеза СУ. Однако известные методы синтеза ШСС рассматривают эти системы отдельно и не учитывают их взаимного влияния друг на друга.

Наиболее перспективным и рациональным методом является автоматизированный синтез параметров стреловых систем [1], позволяющий оптимизировать параметры ШСС по критериям металлоёмкости, энергоёмкости, маневренности, надежности, экономичности с высокой точностью при минимальных затратах времени. Однако данный метод не даёт рекомендаций по выбору входных данных на начальном этапе автоматизированного синтеза СС и СУ, чему посвящена настоящая работа.

Целью данной работы является составление на базе интерпретатора MathCAD математических зависимостей, позволяющих упростить методику определения входных геометрических параметров для совместного автоматизированного расчёта и синтеза СС и СУ.

Изложение основного материала. Стреловая система с системой уравнивания характеризуется параметрами, показанными на рис.1.

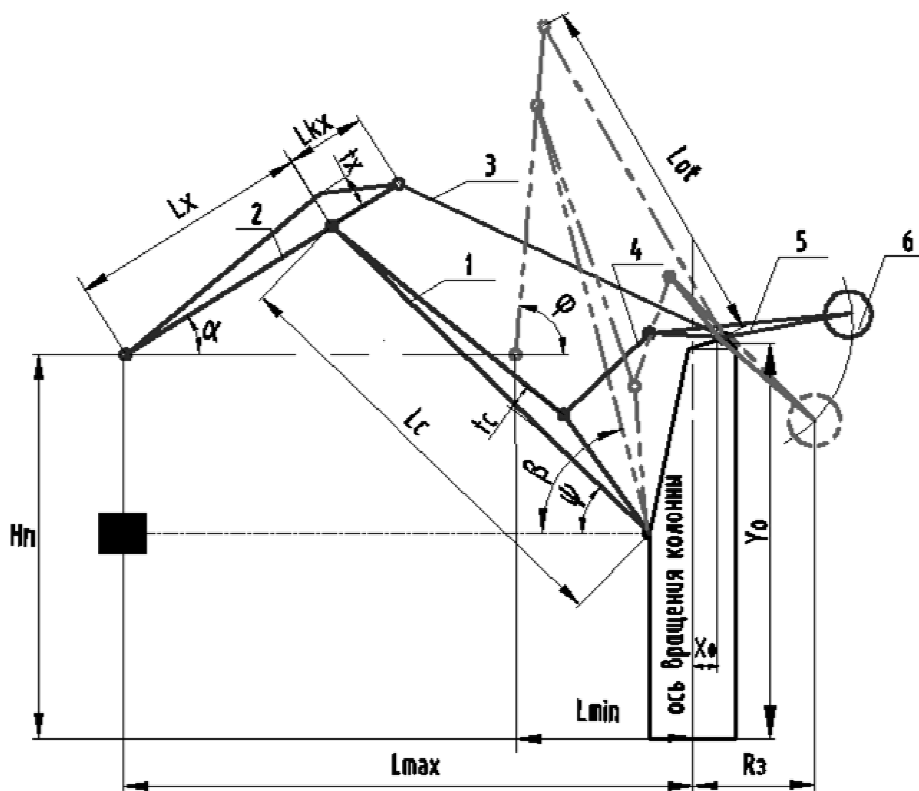


Рисунок 1 – Схема шарнирно–сочленённой стреловой системы (СС) и системы уравнивания (СУ) портального крана: 1 – стрела, 2 – хобот, 3 – оттяжка, 4 – стреловая тяга, 5 – коромысло СУ, 6 – подвижный противовес.

Основополагающими исходными данными, имеющими определенные конечные значения, являются только параметры: L_{max} – максимальный вылет стрелы, L_{min} – минимальный вылет стрелы, H_i – высота подъёма груза, R_3 – предельное значение величины заднего габарита.

Эти параметры задаются заказчиком, либо назначаются, исходя из современных требований к технической характеристике крана. Значениями всех остальных параметров необходимо задаться в качестве входных данных для выполнения расчёта, синтеза и оптимизации СС и СУ. Количество этих неопределённых параметров и диапазон их возможных геометрических значений достаточно велики, что затрудняет работу и приводит к большому числу вариантов вычислений.

Авторами настоящей работы решалась задача систематизации и формирования входных данных для автоматизированного синтеза СС и СУ. Ставилась цель предложить метод определения входных параметров, сократить их количество и автоматизировать определение их количественных значений.

Данная разработка базируется на методах автоматизированного синтеза и оптимизации СС и СУ [2, 3] и может рассматриваться как их развитие.

Решая задачу разработки математической модели, одновременно описывающей СС и СУ, авторами предложено объединить входные данные для СС и входные данные для СУ в единый набор параметров (табл.1).

Таблица 1 – Набор входных геометрических данных для ввода в программу расчёта и синтеза СС и СУ порталного крана

Входные данные для СС	Входные данные для СУ	Входные данные для совместного синтеза СС и СУ
$L_c, L_x, L_{kx}, L_{ot},$ $X_o, Y_o, t_c, t_x, \beta, \psi,$ $L_{max}, L_{min}, R_3, H_{\bar{i}}$	$L_c, L_x, L_{kx}, L_{ot},$ $X_o, Y_o, t_c, t_x,$ L_{max}, L_{min}, R_3	$L_c, L_x, L_{kx}, L_{ot},$ $X_o, Y_o, t_c, t_x, \beta, \psi,$ $L_{max}, L_{min}, R_3, H_{\bar{i}}$

Используя математические зависимости между определёнными (заданными) значениями параметров и значениями неопределённых параметров, можно сократить число неопределённых параметров. Так, в работе [4] авторами предложено выразить длину стрелы – $L_{\bar{n}}$ и длину хобота – L_x через максимальный вылет стрелы – L_{max} и углы наклона стрелы и хобота – $\alpha, \varphi, \beta, \psi$ по формулам:

$$L_{\bar{n}} = L_{max} \cdot \frac{\sin \alpha - \sin \varphi}{\cos \psi (\sin \alpha - \sin \varphi) + \cos \alpha (\sin \psi - \sin \beta)}; \quad (1)$$

$$L_x = L_{max} \cdot \frac{\sin \psi - \sin \beta}{\cos \psi (\sin \alpha - \sin \varphi) + \cos \alpha (\sin \psi - \sin \beta)}; \quad (2)$$

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.

Значения углов $\alpha, \varphi, \beta, \psi$ изменяются в небольшом диапазоне. На основании источников [4,5,6,7,8] и проведенного анализа значений этих углов на эксплуатируемых отечественных и зарубежных порталных кранов, можно рекомендовать диапазоны значений углов $\alpha, \varphi, \beta, \psi$ для расчёта входных данных (табл.2).

Таблица 2 – Рекомендуемые диапазоны значений углов

Обозначение угла	Минимальное значение угла	Максимальное значение угла
α	20°	35°
φ	80°	85°
ψ	40°	55°
β	75°	80°

Следует отметить, что использование зависимостей (1) и (2) и их вычисление без средств вычислительной техники достаточно трудоёмко с учётом возможных диапазонов изменения четырёх переменных – $\alpha, \varphi, \beta, \psi$ и их сочетаний. Поэтому решение уравнений (1), (2) с четырьмя неизвестными выполнялось с применением программного пакета MathCAD.

Встроенные функции программы позволяют вычислить искомые параметры – L_c, L_x с учётом конструктивных ограничений. В результате расчёта формируется массив значений параметров L_c, L_x и диапазон их приемлемых значений.

Следующие 6 параметров – $L_{kx}, L_{ot}, t_x, t_c, X_o, Y_o$, которые являются входными геометрическими данными для совместного синтеза СС и СУ, определяются на основании исследований, проведенных в работах [5, 6, 7] по формулам (3), (4), (5), (6), (7), (8).

Длина контрхобота определяется по следующей формуле:

$$L_{kx} = (0.3...0.4) \cdot L_x \quad (3)$$

Высота хобота выражается через длину контрхобота по формуле:

$$t_x = (0.1...0.3) \cdot L_{kx} \quad (4)$$

Горизонтальная координата крепления оттяжки от оси вращения колонны:

$$X_o = (0.12...0.35) \cdot L_{max} \quad (5)$$

Вертикальная координата крепления оттяжки от оси вращения колонны:

$$Y_o = (0.13...0.3) \cdot L_{max} \quad (6)$$

Высота стрелы:

$$t_c = (0.05...0.08) \cdot L_c \quad (7)$$

Выражение для определения длины оттяжки имеет вид:

$$L_{ot} = \sqrt{\left[\left(1 + \frac{L_{kx}}{L_x}\right) \cdot L_c \cdot \cos\psi - \frac{L_{kx}}{L_x} \cdot L_{min} + X_o \right]^2 + \left[\left(1 + \frac{L_{kx}}{L_x}\right) \cdot L_c \cdot \sin\psi - \frac{L_{kx}}{L_x} \cdot H_i - Y_o \right]^2} \quad (8)$$

При этом анализ уравнений (3), (4), (5), (6), (7), (8) показывает, что искомые величины зависят от геометрических параметров L_c, L_x . Решение уравнений (3), (4), (5), (6), (7), (8) выполняется также с помощью программы MathCAD. Входными аргументами данных выражений являются $\alpha, \varphi, \beta, \psi, L_c, L_x$.

Таким образом, для ввода исходных геометрических параметров при совместном автоматизированном расчёте и синтезе СС и СУ достаточно иметь набор следующих данных –

$\alpha, \varphi, \beta, \psi, L_{max}, L_{min}, R_3, H_{\bar{i}}$ (табл. 3), что значительно упрощает процесс проектирования порталного крана.

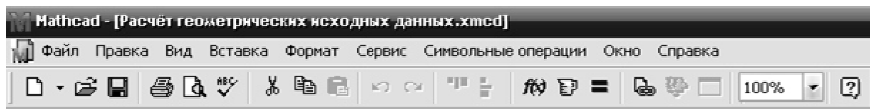
Таблица 3 – Входные геометрические параметры для расчёта и синтеза шарнирно–сочленённой СС и СУ

Входные данные для СС	Входные данные для СУ	Входные данные для совместного синтеза СС и СУ	Входные данные для совместного синтеза СУ и СС с использованием предложенного метода
$L_c, L_x, L_{kx}, L_{ot}, X_o, Y_o, t_c, t_x, \beta, \psi, L_{max}, L_{min}, R_3, H_{\bar{i}}$	$L_c, L_x, L_{kx}, L_{ot}, X_o, Y_o, t_c, t_x, L_{max}, L_{min}, R_3$	$L_c, L_x, L_{kx}, L_{ot}, X_o, Y_o, t_c, t_x, \beta, \psi, L_{max}, L_{min}, R_3, H_{\bar{i}}$	$\alpha, \varphi, \beta, \psi, L_{max}, L_{min}, R_3, H_{\bar{i}}$

В качестве примера по предложенному методу выполнен расчёт входных геометрических параметров для крана с заданным значением $L_{max} = 32i$.

В систему MathCAD вводятся значения всех углов (табл.2), формируются зависимости, соответствующие формулам (1-8), и выполняется автоматический расчёт уравнений.

Пользуясь встроенными функциями программы MathCAD и учитывая весь диапазон углов и их сочетаний, по результатам расчёта получаем массивы значений и графики параметров L_c, L_x (рис. 2), (рис. 3) соответственно; массивы значений и графики параметров $L_{kx}, L_{ot}, t_x, t_c, X_o, Y_o$ (рис.4), (рис. 5) соответственно.



	0
0	13
1	13.4
2	13.7
3	14.1
4	14.6
5	15
6	15.5
7	"нет решений"
8	"нет решений"
9	"нет решений"
10	"нет решений"
11	13
12	13.3
13	13.7
14	14.1
...	...
18605	12.8
18606	13.2
18607	13.7
18608	14.2
18609	14.7
18610	15.2

 $L_x(\alpha, \varphi, \psi, \beta) =$

	0
0	25.8
1	25.6
2	25.3
3	25
4	24.7
5	24.4
6	24
7	23.7
8	23.4
9	23
10	22.7
11	25.9
12	25.6
13	25.3
14	25
...	...
19625	26.3
19626	26
19627	25.7
19628	25.4
19629	25.1
19630	24.8

 $L_e(\alpha, \varphi, \psi, \beta) =$

Рисунок 2 – Вычисление длины хобота и длины стрелы в программном пакете MathCAD при максимальном вылете стрелы при $L_{max} = 32i$.

Полученные результаты представлены в виде графиков, где автоматически отображаются максимальное и минимальное значения величин L_c, L_x (рис. 4) и $L_{kx}, L_{ot}, t_x, t_c, X_o, Y_o$ (рис.5).

Анализ графиков позволяет установить диапазон приемлемых значений длины хобота – $L_x = 11.5...16i$ и длины стрелы – $L_{\bar{n}} = 23...27.2i$, а также сформировать диапазоны приемлемых значений параметров $L_{kx} = 3.2...5.6i$; $L_{ot} = 18.4...21.6i$; $t_x = 0.4...1.7$; $t_c = 1.1...2.2$; $X_o = 3.84...8.3i$; $Y_o = 4.16...8.6i$.

Результаты расчётов позволяют принимать в качестве входных данных для автоматизированного синтеза геометрические параметры всех звеньев СС и СУ не из множества случайных неопределённых значений, а из узкого диапазона обоснованно приемлемых величин.

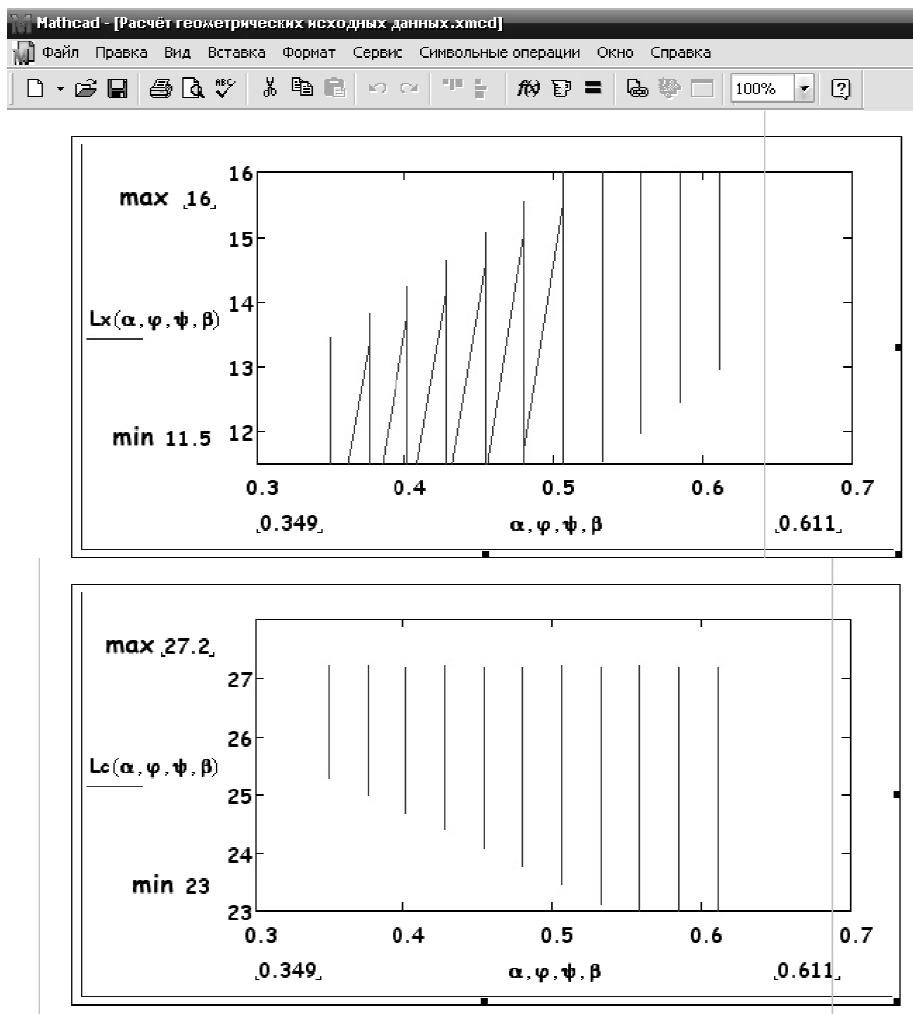


Рисунок 3 – Графики зависимостей длины хобота и длины стрелы от углов наклона хобота и стрелы соответственно при максимальном вылете стрелы при $L_{max} = 32i$

Метод полезен для конструктора на начальной стадии проектирования и обеспечивает уменьшение объёма расчётов при синтезе систем. Предлагаемый метод формирования значений геометрических параметров в качестве входных данных для программ синтеза СС и СУ проверен путём сравнительного анализа с геометрическими параметрами порталных кранов, используемых в морских торговых портах Украины (табл.4).

Сравнительный анализ подтверждает правильность принятого метода определения основных геометрических параметров для совместного синтеза СС и СУ.

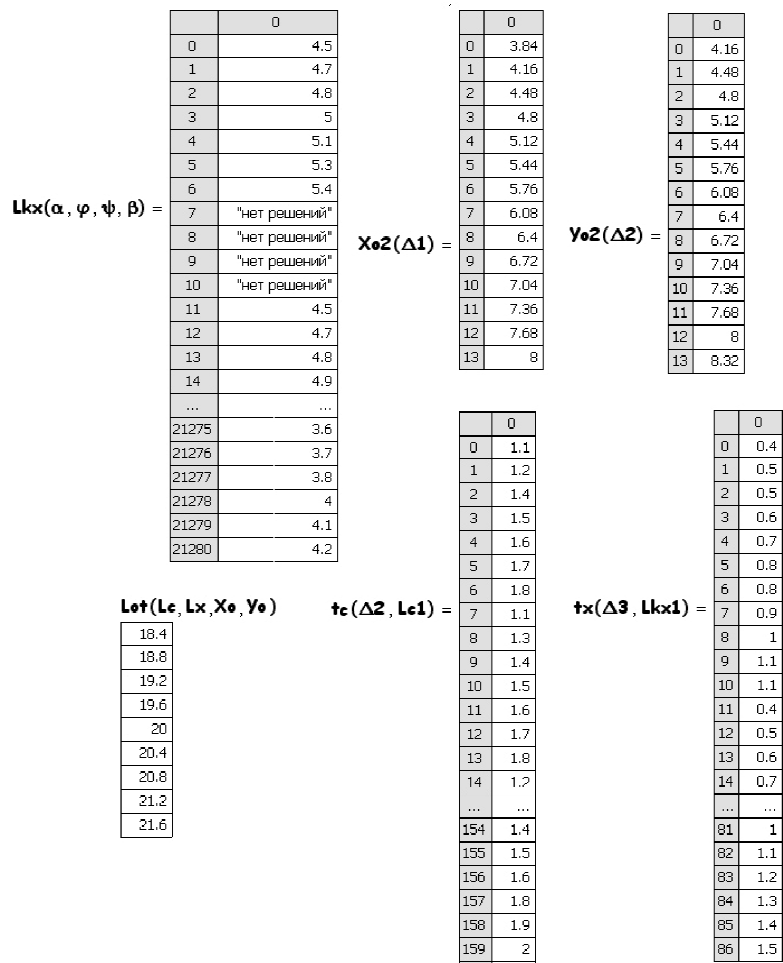
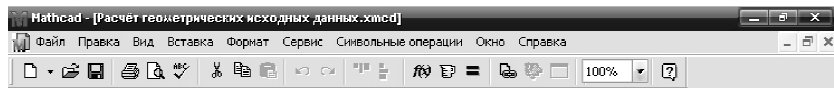
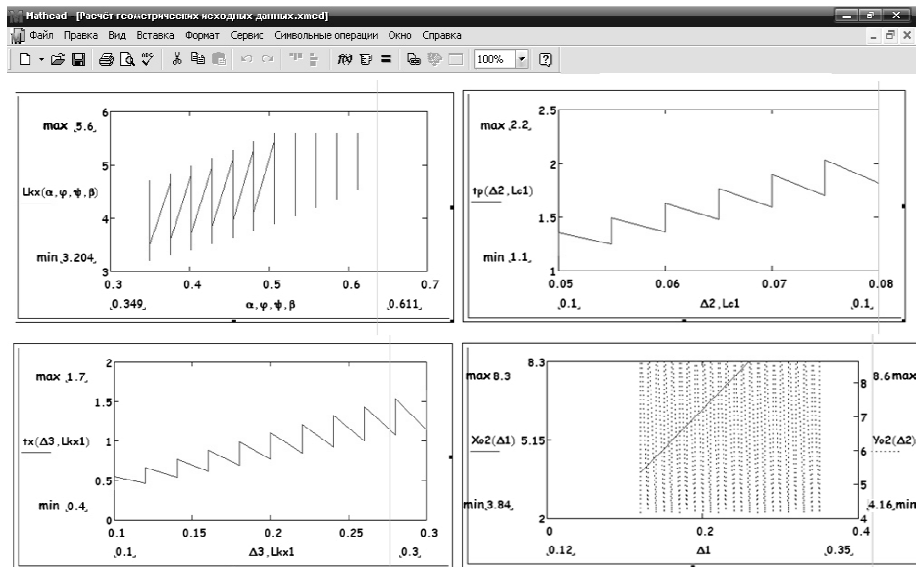


Рисунок 4 – Вычисление исходных геометрических данных для совместного синтеза в программном пакете MathCAD при максимальном вылете стрелы при $L_{max} = 32i$.

После определения основных геометрических параметров можно перейти к определению силовых входных данных для совместного синтеза и оптимизации СС и СУ.



$$\max(\text{Lot}(L_c, L_x, X_c, Y_c)) = 18.4$$

$$\min(\text{Lot}(L_c, L_x, X_c, Y_c)) = 21.6$$

Рисунок 5 – Графики зависимостей исходных геометрических данных от углов наклона хобота и стрелы соответственно при максимальном вылете стрелы при $L_{max} = 32i$.

Таблица 4 – Сравнительный анализ полученных результатов с геометрическими характеристиками СС и СУ кранов, используемых в морских портах

Входные данные для совместного синтеза СУ и СС с использованием предлагаемого метода	Результаты расчёта предлагаемым методом	Модели кранов, применяемых в портах			Отклонение от расчёта, %
		Марк-32 КПП-25-32-10.5	Кондор КПП-16-32-10.5	Альбатрос КПП-10-32-10.5	
$\alpha = 20^\circ \dots 35^\circ$	$L_{\bar{n}} = 23 \dots 27.2i$	$L_{\bar{n}} = 27.44i$	$L_{\bar{n}} = 27.35i$	$L_{\bar{n}} = 26.04i$	0.88%
$\varphi = 80^\circ \dots 85^\circ$	$L_x = 11.5 \dots 16i$	$L_x = 16.3i$	$L_x = 15i$	$L_x = 11.93i$	1.87%
$\psi = 40^\circ \dots 55^\circ$	$L_{kx} = 3.2 \dots 5.6i$	$L_{kx} = 5.7i$	$L_{kx} = 4.8i$	$L_{kx} = 4.32i$	1.78%
$\beta = 75^\circ \dots 80^\circ$	$L_{ot} = 18.4 \dots 21.6i$	$L_{ot} = 21.8i$	$L_{ot} = 21.3i$	$L_{ot} = 20.6i$	0.92%
$L_{max} = 32i$					
$R_3 = 7.5i$					

Вывод. В результате проведенных исследований выполнен анализ и систематизированы математические зависимости между геометрическими параметрами звеньев СС и СУ. Даны рекомендации по использованию интерпретатора MathCAD для расчёта входных данных для автоматизированного синтеза СС и СУ. Сокращено число входных данных. Предложен упрощённый метод определения входных данных для автоматизированного расчёта, синтеза и оптимизации СС и СУ при сохранении точности расчёта.

Выполнена апробация предложенного метода применительно к эксплуатируемым порталным кранам.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Мисюра В.П., Михеев В.А. Теория синтеза стреловых систем порталных кранов в постановке задачи математического программирования / В.П.Мисюра, В.А. Михеев// Підйомно – транспортна техніка: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. №3(19). – С. 23-31
2. Михеев В.А., Мисюра В.П. Автоматизированное проектирование уравновешивающих устройств стреловых систем порталных кранов / В.А. Михеев, В.П. Мисюра // Підйомно – транспортна техніка: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. №3(15). – С. 15-28.
3. Мисюра В.П., Михеев В.А. Автоматизированный синтез параметров стреловых систем порталных кранов / В.П. Мисюра, В.А. Михеев // Підйомно – транспортна техніка: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. №4(20). – С. 8-12.
4. Суглобов В.В., Михеев В. А., Тищенко Е.В. Определение геометрических параметров стрелы и хобота шарнирно – сочленённой стреловой системы порталного крана / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, Е.В. Тищенко // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2010. – Вип. №22. – С. 177-182
5. Стрелов В.И. Расчёт шарнирных стреловых систем порталных кранов / В.И. Стрелов. – Калуга: Облиздат, 1998. – 188 с
6. Горский Б.Е. Шарнирно–сочленённые укосины порталных кранов / Б.Е. Горский – М.: Машгиз, 1965. – 185 с.
7. Дукельский А.И. Портовые грузоподъёмные машины / А.И. Дукельский – Л.: Транспорт, 1970. – 439 с.