

УДК 621.875

МЕТОД РАСЧЁТА ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЁННОЙ СИСТЕМЫ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

В.В. Суглобов, профессор, д.т.н., В.А. Михеев, доцент, Е.В. Ткачук, аспирант, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский Государственный технический университет», г. Мариуполь

Аннотация. Рассматриваются вопросы автоматизированного проектирования шарнирно-сочленённой стреловой системы порталного крана; предложены практические рекомендации по определению входных данных для программы автоматизированного синтеза с использованием программного пакета MathCAD.

Ключевые слова: входные данные, стреловая система, синтез, автоматизированное проектирование, метод расчёта, порталный кран.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

В.В. Суглобов, професор, д.т.н., В.А. Міхєєв, доцент, К.В. Ткачук, аспірант, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський Державний технічний університет», м. Маріуполь

Анотація. Розглядаються питання автоматизованого проектування шарнірно - зчленованої стрілової системи порталного крана; запропоновано практичні рекомендації з визначення вхідних даних для програми автоматизованого синтезу з використанням програмного пакета MathCAD.

Ключові слова: вхідні дані, стрілова система, синтез, автоматизоване проектування, метод розрахунку, порталний кран.

A METHOD OF INPUT DATA CALCULATION FOR AUTOMATED DESIGN OF GANTRY CRANE ARTICULATED SYSTEMS

V. Suglobov, Professor, Doctor of Engineering Sciences, V. Mikheyev, Associate Professor, K.Tkachuk, post-graduate, Pryazovskiy State Technical University, Mariupol

Abstract. Automated design of gantry crane articulated boom systems has been considered; practical recommendations on the input data calculation for an automated synthesis program using the MathCAD software package have been proposed.

Key words: input data, boom system, synthesis, automated design, method of calculation, gantry crane.

Введение

Погрузочно-разгрузочные работы с применением различных типов подъёмно-транспортных машин (ПТМ) являются неотъемле-

мой частью любого производственного процесса. Среди многочисленных ПТМ особое место занимают порталные краны, которые получили широкое распространение не только в морских и речных портах, но и в

судостроении, строительстве зданий и гидротехнических сооружений, в транспортной промышленности. Основной особенностью порталных кранов, по сравнению с другими типами поворотных кранов, является конструкция стрелового устройства.

Из большого количества разновидностей стреловых устройств широкое распространение получили шарнирно-сочленённые стреловые системы, которые характеризуются высокой производительностью, безопасностью работы и удобством управления крана. Проектирование шарнирно-сочленённых стреловых систем (ШСС), обеспечивающих требуемую надёжность и производительность при одновременном снижении металлоёмкости и энергоёмкости, является весьма актуальной задачей.

В работе рассматриваются вопросы проектирования ШСС, связанные с использованием персонального компьютера (ПК) для расчёта конструктивных параметров стреловой системы.

Анализ публикаций

Научно-практические аспекты проектирования ШСС исследованы во многих научных работах. Следует отметить, что определение конструктивных параметров ШСС является сложной, трудоёмкой задачей. Эта сложность заключается в необходимости удовлетворения всем требованиям и ограничениям, предъявляемым к ШСС.

Решению этой задачи посвящён ряд научных работ Б.Е. Горского, А.И. Дукельского, В.П. Мисюры, В.А. Михеева, В.И. Стрелова, П.З. Петухова. По мнению учёных, для определения конструктивных параметров ШСС необходимо использовать современные методы расчёта и синтеза с использованием ПК. До появления ПК эта задача решалась графическими, графоаналитическими и аналитическими методами [1]. В практике проектирования ШСС наибольшее распространение имели методы Дукельского [2], Петухова [3], Стрелова [4]. В работах [1–4] показано, что конструктивные параметры ШСС нельзя рассчитывать приближённо, ссылаясь при этом на неточность изготовления и возможность регулировки всей системы, так как неточности расчёта не компенсируют друг друга, а накладываясь одна на

другую, в несколько раз увеличивают погрешность, допущенную в расчёте. Поэтому метод, представленный в работах Мисюры [5, 6], является наиболее перспективным и рациональным. Этот метод позволяет оптимизировать параметры ШСС по критериям металлоёмкости, энергоёмкости, маневренности, надёжности, экономичности с высокой точностью при минимальных затратах времени.

Однако данный метод не даёт рекомендаций по выбору входных данных на начальном этапе автоматизированного синтеза ШСС, чему посвящена настоящая работа.

Цель и постановка задачи

Авторами решалась задача систематизации и определения принципиальных положений по формированию входных геометрических и весовых данных для автоматизированного проектирования ШСС.

Цель данной статьи – разработка метода расчёта входных данных, позволяющего автоматизировать и установить их количественные значения.

Общие положения по формированию расчёта входных данных

Алгоритм программ синтеза и оптимизации ШСС включает следующие этапы:

- 1) разработку системы входных данных объекта, т.е. параметров, значений которых достаточно для описания конструкции ШСС;
- 2) разработку системы варьируемых данных и ограничений на их числовые значения. Такая система данных может быть сформирована из ограничений по заданию на проектирование, либо на основании диапазонов приемлемых значений, установленных в процессе проектирования;
- 3) разработку критериев качества, совокупность которых в максимальной мере позволит оценить качество рассматриваемого множества вариантов и выдать оптимальное решение. В работах [7, 8] предложен набор критериев качества ШСС.

Первоначальный этап формирования входных данных необходим для запуска программы автоматизированного проектирования ШСС и включает в себя:

- а) ввод входных геометрических данных;
- б) ввод входных весовых данных.

На структурной схеме (рис. 1) анализируемой ШСС указаны звенья, геометрические параметры которых должны быть введены в программу. Также на схеме обозначены весовые параметры, значения которых необходимы для запуска программы автоматизированного синтеза ШСС.

Известно, что исходных данных, предоставляемых заказчиком, а именно – максимальный L_{max} и минимальный L_{min} вылеты стрелы; величина заднего габарита R_3 ; вес груза Q_g , недостаточно для расчёта и ШСС. В работе Мисюры [5] отмечено, что ШСС с прямым хоботом и оттяжкой однозначно определяется геометрическими параметрами, представленными в табл. 1.

Значениями этих параметров нужно задаться; они принимаются на основе геометрических данных кранов-аналогов и опыте проектировщика.

В работе [6] приведены весовые параметры (табл. 2), которые необходимо учитывать при расчёте и проектировании ШСС.

Таблица 1 Входные геометрические данные для запуска программы проектирования ШСС

Символ	Наименование данных
L_c	длина стрелы
L_x	длина хобота
L_{kx}	длина контрхобота
t_x	высота хобота
L_{ot}	длина оттяжки
X_o	горизонтальная координата крепления оттяжки
Y_o	вертикальная координата крепления оттяжки

Следует отметить, что ни один существующий метод расчёта и проектирования ШСС не даёт рекомендаций по выбору геометрических и весовых данных. На практике эту задачу решают методом случайного подбора величин искомых параметров, что приводит к большому числу вариантов вычислений. Поэтому остаётся открытым вопрос о разработке методики определения геометрических и весовых входных данных для автоматизированного синтеза ШСС, чему посвящена данная работа.

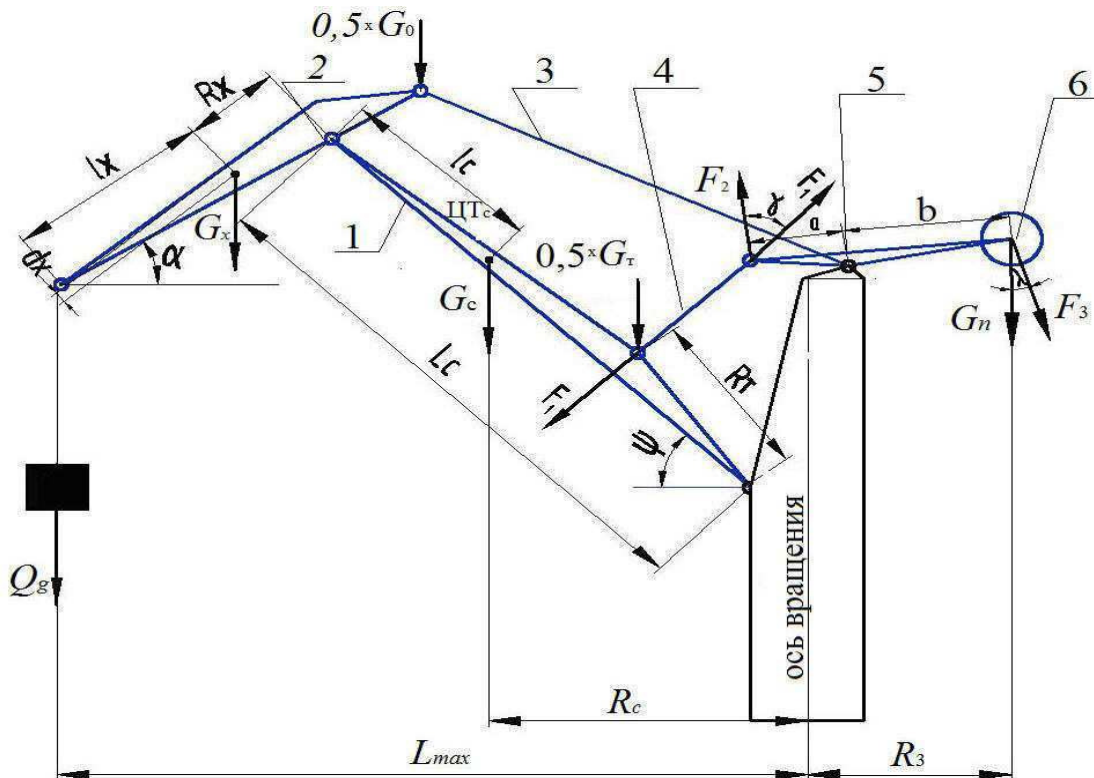


Рис. 1. Структурная схема шарнирно-сочленённой стреловой системы (ШСС) портального крана: 1 – стрела; 2 – хобот; 3 – оттяжка; 4 – стреловая тяга; 5 – коромысло; 6 – противовес

Кроме того, все вышеизложенное свидетельствует о необходимости сведения к минимуму количества произвольно принимаемых входных данных.

Таблица 2 Входные весовые данные для запуска программы проектирования ШСС

Символ	Наименование данных
G_c	вес стрелы
R_c	расстояние от оси качания стрелы до центра тяжести (ЦТ) стрелы
G_x	вес хобота
R_x	расстояние от шарнира хобота до его центра тяжести (по длине)
d_x	расстояние от оси хобота до его центра тяжести (по высоте)
$0,5 \cdot G_o$	половина веса оттяжки
$0,5 \cdot G_T$	половина веса стреловой тяги
R_T	расстояние от оси качания стрелы до места крепления стреловой тяги к стрелы

Эта задача решалась рядом авторов. Так, в работе [3] предложен графоаналитический метод определения геометрических параметров L_c , L_x , L_{ot} . Такой метод является трудоёмким и неточным. В работах Стрелова [4] и Серлина [9] выведены аналитические зависимости для определения L_c , L_x , L_{ot} . Однако эти зависимости громоздки, включают в себя большое количество варьируемых параметров, определение которых усложняет процесс проектирования. Поэтому дальнейшее развитие этой проблемы отражено в работе [10], где авторами представлены зависимости определения L_c , L_x .

Авторами настоящей работы предложено выразить L_c и L_x через максимальный вылет стрелы и углы наклона стрелы и хобота по формулам

$$L_c = L_{\max} \times \frac{\sin \alpha - \sin \varphi}{\cos \psi (\sin \alpha - \sin \varphi) + \cos \alpha (\sin \psi - \sin \beta)} \quad (1)$$

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

где L_{\max} – максимальный вылет стрелы; ψ, α – углы наклона стрелы и хобота на мак-

симальном вылете стрелы; β, φ – углы наклона стрелы и хобота на минимальном вылете стрелы.

Исходя из рекомендаций, представленных в источниках [1, 2, 4, 10], и анализа выполненных моделей кранов, представим в табл. 3 диапазоны изменения углов α , φ , ψ , β .

Таблица 3 Рекомендуемые диапазоны изменения углов

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

При этом следует учесть, что зависимости (1) и (2) решить «вручную» достаточно трудоёмко, учитывая все диапазоны изменения четырёх переменных α , φ , ψ , β и их возможные сочетания. Поэтому решение уравнений (1), (2) с четырьмя неизвестными возможно с применением программного пакета MathCAD.

В систему MathCAD вводятся значения всех углов (табл. 3), формируются зависимости, соответствующие формулам (1) и (2), и выполняется автоматический расчёт уравнений. Пользуясь встроенными функциями программы MathCAD и учитывая весь диапазон углов и их сочетаний, по результатам расчёта получен диапазон величин L_c , L_x .

Дальнейшее решение поставленной задачи выполнялось с целью определения остальных геометрических данных, а именно – L_{kx} , L_{ot} , t_x , x_o , y_o .

В процессе решения определилась возможность сократить количество входных геометрических данных, ограничиваясь следующими: L_{\max} , L_{\min} , R_3 , α , φ , ψ , β .

Определение весовых входных данных в работе [9] сводится к определению массы металлической конструкции m_c .

$$m_c = \rho \cdot \mu \cdot \int_l F_{\min} dl, \quad (3)$$

где ρ – плотность материала; μ – коэффициент, учитывающий отклонение от теоретической оптимальной формы; l – длина участка; F_{\min} – минимально необходимая площадь сечения изгибаемой балки при выполнении ограничения по прочности.

Величины R_x , R_c определяются приближенно в работе [3]

$$R_x \approx 0,4 \cdot l_x + 0,2 \cdot L_x, \quad (4)$$

$$R_c \approx \frac{0,6 \cdot (L_c - l_c)^2 + l_c \cdot (L_c - 0,6 \cdot l_c)}{(L_c - l_c) + \sqrt{2} \cdot l_c}, \quad (5)$$

где l_x – длина участка от шарнира хобота до его центра тяжести; l_c – расстояние от оси хобота до центра тяжести стрелы.

Анализируя существующие методы расчёта весовых данных, нельзя не отметить, что рекомендуемые подходы характеризуются неточностью расчёта и значительными погрешностями в определении весовых характеристик ШСС.

Поэтому авторами настоящей работы предлагается принять в качестве основы определения весовых входных данных базовые рекомендации графоаналитических и аналитических методов расчёта. Эти методы позволяют определить усилия F_1 , F_2 , F_3 , действующие в звеньях ШСС (рис. 1), а также вес противовеса G_{Π}

$$F_1 = \frac{G_c \cdot R_c}{R_T}, \quad (6)$$

$$F_2 = F_1 \cdot \cos \gamma, \quad (7)$$

$$F_3 = \frac{F_2 \cdot a}{b}, \quad (8)$$

$$G_{\Pi} = \frac{F_3}{\cos \lambda}. \quad (9)$$

В результате выполненных преобразований, получим

$$G_{\Pi} = \frac{G_c \cdot R_c \cdot a \cdot \cos \gamma}{R_T \cdot b \cdot \cos \lambda}. \quad (10)$$

Проведенные исследования позволяют перейти к определению остальных весовых входных данных для автоматизированного расчёта, синтеза и проектирования ШСС.

Таким образом, авторами сформирован метод расчёта входных параметров для автоматизированного проектирования ШСС с использованием программы MathCAD. Предлагаемый метод полезен для конструктора на начальной стадии проектирования стреловой системы и обеспечивает уменьшение объёма расчётов при синтезе систем.

Разработка, представленная в работе, базируется на методах автоматизированного синтеза и оптимизации стреловых систем и может рассматриваться как их развитие.

Выводы

Авторами решена задача систематизации входных геометрических и весовых данных; сокращено количество геометрических входных данных при сохранении точности расчёта; представлены базовые формулы по определению входных весовых данных.

В результате проведенных исследований установлено, что использование набора встроенных команд, предоставляемых интерпретатором MathCAD, позволило решить поставленную техническую задачу по определению входных данных для автоматизированного расчёта, синтеза и оптимизации ШСС. Представленный в данной работе метод позволяет сократить время проектирования ШСС. Кроме того, данная программа, написанная в среде MathCAD, обладает возможностью учитывать весь диапазон варьируемых исходных величин, что повышает качество расчёта и проектирования.

Литература

1. Горский Б.Е. Шарнирно-сочленённые укосины порталных кранов / Б.Е. Горский. – М.: Машгиз, 1965. – 185 с.
2. Дукельский А.И. Портовые грузоподъёмные машины / А.И. Дукельский. – Л.: Транспорт, 1970. – 439 с.
3. Петухов П.З. Специальные краны: учеб. пособие / П.З. Петухов, Г.П. Ксюнин,

- Л.Г. Серлин. – М.: Машиностроение, 1985. – 239 с.
4. Стрелов В.И. Расчёт шарнирных стреловых систем порталных кранов / В.И. Стрелов. – Калуга: Облиздат, 1998. – 188 с.
 5. Мисюра В.П. Оптимальное проектирование уравновешивающих устройств стреловых систем порталных кранов / В.П. Мисюра, В.И. Жермунский // Вестник машиностроения: сб. науч. трудов, 1980. – №7. – С. 41–43.
 6. Мисюра В.П. Обобщённая математическая модель шарнирно-сочленённой укосины порталного крана с различными механизмами уравновешивания / В.П. Мисюра, В.И. Жермунский // Подъёмно-транспортные машины: сб. науч. трудов. – Тула. – 1979. – №7. – С. 80–86.
 7. Суглобов В.В. Основы обобщённого автоматизированного синтеза конструкции стреловой системы и системы уравновешивания порталного крана / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, Е.В. Тищенко // Подъёмно-транспортное оборудование и логистика: материалы I региональной студенческой научно-технической конференции 18–19 мая 2011 года. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – С. 118–120.
 8. Суглобов В. В. Разработка алгоритма и программы синтеза и оптимизации конструкции стреловой системы порталных кранов / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, Е.В. Тищенко // Perspektywiczne opracowania sa nauka I technikami 2011: materialy VII Miedzynarodowej naukowipraktycznej konferencji – Przemysl: Nauka I studia. – Vol. 54. Techniczne nauki, 2011. – S. 80 – 83.
 9. Справочник по кранам: в 2 т. / сост. М.М. Гохберг – Л: Машиностроение, 1988. – Т. 2. – 1988. – 559 с.
 10. Суглобов В.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: ДВНЗ «ПДТУ». – 2011. – Вип. 22. – С. 177–182.

Рецензент: И.Г. Миренский, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 8 июня 2012 г.
