

**МЕТОДИКА МЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НОЖНИЦ С КАТЯЩИМСЯ РЕЗОМ  
ДЛЯ ОБРЕЗКИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА****Чоста Н. В., Владимиров Э. А., Шоленинов В. Е.**

Разработаны два метода, позволяющих выполнять метрический синтез ножниц с катящимся резом для обрезки листового проката, который является механизмов 3-го класса: составлением системы уравнений, а также универсальным методом «фиктивного» механизма. Сравнение этих методов показало, что максимальная относительная разность между величинами, полученными разными способами, не превышает 0,1 %. Разработана программа, позволяющая моделировать движение механизма. Приведен график зависимости угла поворота ножа от угла поворота входного звена. Определены направления дальнейшего исследования ножниц с катящимся резом.

Розроблено два методи, що дозволяють виконувати метричний синтез ножиць з різом, що котиться, для різання листового прокату, який є механізмом 3-го класу: складанням системи рівнянь, а також універсальним методом «фіктивного» механізму. Порівняння цих методів показало, що максимальна відносна різниця між величинами, отриманими різними способами, не перевищує 0,1 %. Розроблена програма, що дозволяє моделювати рух механізму. Приведено графік залежності кута повороту ножа від кута повороту входної ланки. Визначені напрями подальшого дослідження ножиць з різом, що котиться.

Developed two methods that perform metric synthesis with rolling scissors cuts to trim sheet metal, which is the mechanism of the third class of: preparation of system equations, and versatile method of "fictitious" mechanism. A comparison of these methods shows that the maximum relative difference between the values obtained in different ways, does not exceed 0,1 %. A program that allows you to simulate the movement of the mechanism. Shows a plot of the angle of rotation of the blade angle of the input link. The directions for further research with rolling scissors cut.

Чоста Н. В.

канд. техн. наук, доц. каф. ОПМ ДГМА  
okmm@dgma.donetsk.ua

Владимиров Э. А.

канд. техн. наук, доц. УИПА

Шоленинов В. Е.

ст. преп. каф. ОПМ ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УИПА – Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков.

УДК 621.961.001

Чоста Н. В., Владимиров Э. А., Шоленинов В. Е.

## МЕТОДИКА МЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НОЖНИЦ С КАТЯЩИМСЯ РЕЗОМ ДЛЯ ОБРЕЗКИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

К качеству резки металлических полос предъявляются жесткие требования, так как деформация отрезаемых полос ввиду необходимой дополнительной правки представляет серьезную помеху для рационального производства.

Требуемая точность резки является основным фактором, обуславливающим конструктивные параметры ножниц. С точки зрения качества реза наиболее рационально использовать ножницы с катящимся резом, в которых верхний дугообразный нож движется по неподвижному прямолинейному нижнему ножу. Как показали исследования [1], оптимальной траекторией движения ножа является такая траектория, при которой верхний нож катится по горизонтальной прямой линии, лежащей ниже режущей кромки нижнего ножа на глубину вертикального перекрытия между ножами.

Эта схема обеспечивает более высокое качество резки листов, чем гильотинные ножницы, за счёт минимального перемещения верхнего ножа относительно разрезаемого проката, а также за счёт практически постоянного перекрытия по всей длине реза.

Целью работы является разработка методики метрического синтеза ножниц с катящимся резом.

Известна конструкция ножниц, разработанная фирмами Зимаг и Мюллер-Нойман (ФРГ) в конце 70-х годов прошлого столетия, в которой для придания требуемого движения ножа используется гидравлический прижим и копир. На рис. 1 представлена конструктивная схема такого механизма. Расчёт кинематики ножниц производился неточным и трудоёмким графическим методом. В дальнейшем в СССР были разработаны программы, для расчёта кинематики [1].

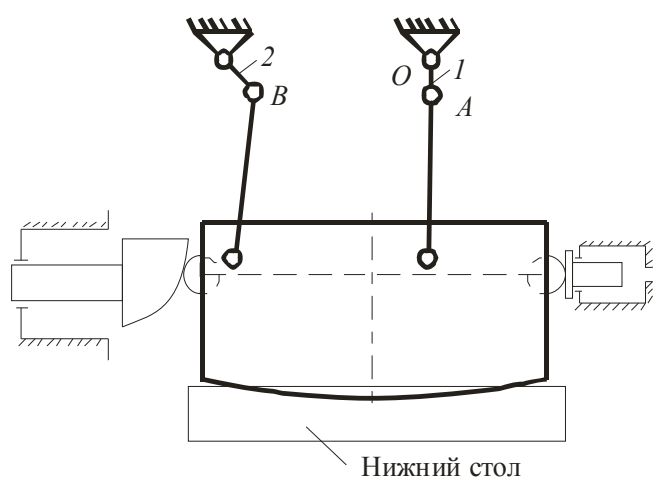


Рис. 1. Ножницы с катящимся резом с гидравлическим прижимом и копиром

Суппорт ножниц, содержащий верхний дугообразный нож, соединён через два шатуна с кривошипами, выполненными конструктивно в виде эксцентриковых валов. Суппорт прижимается к копиру, выполненному в виде дуги окружности, специальным гидравлическим прижимом. Кривошипы синхронизированы и связаны друг с другом через зубчатую передачу, содержащую паразитные колеса, что обеспечивает им вращение в одном направлении. Привод кривошипов осуществлялся от двух двигателей через раздаточный редуктор.

Было произведено несколько ножниц такого типа, в том числе и на ПАО «НКМЗ» – ТЛС – 2800 для Алчевского МК, ТЛС-5000 для ОАО «Северсталь» (рис. 2, 3).

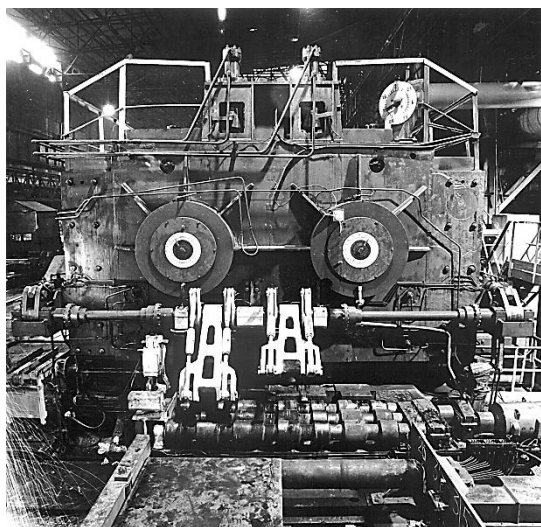


Рис. 2. Ножницы ТЛС-2800

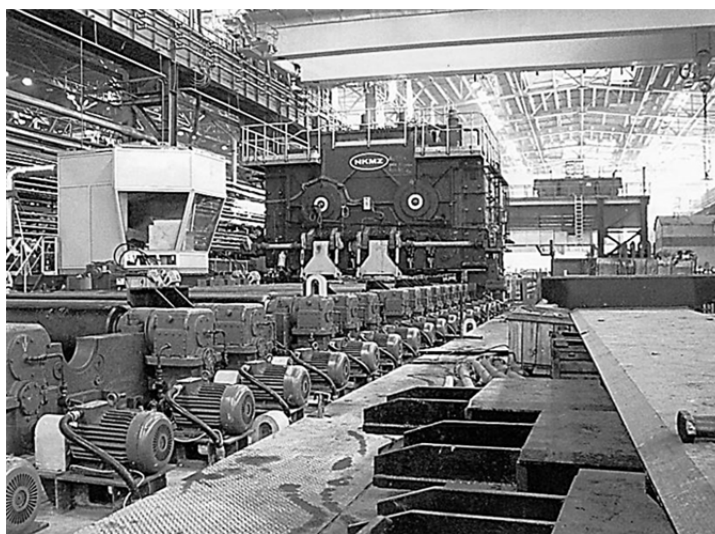


Рис. 3. Ножницы ТЛС-5000

Ножницы с гидравлическим прижимом имеют существенный недостаток – наличие высшей кинематической пары, что создает высокие напряжения и быстрый износ в месте контакта. Описанного недостатка лишена конструкция ножниц, разработанная на ПАО «НКМЗ», в которой гидравлический прижим заменен шарнирным соединением, путем установки дополнительного звена – коромысла. Конструктивная схема ножниц представлена на рис. 4.

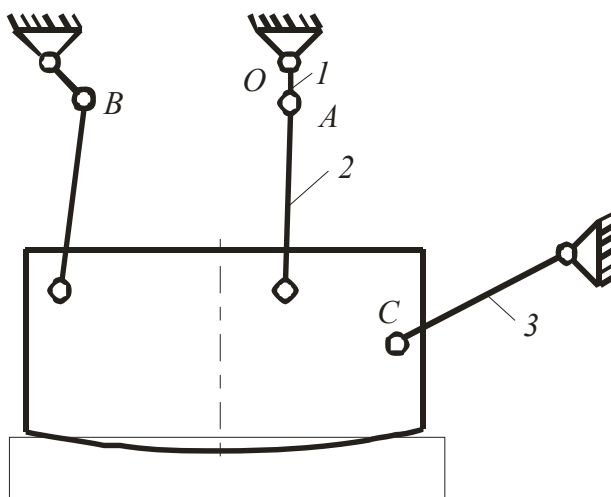


Рис. 4. Ножницы с дополнительным звеном

Такая конструкция получила дальнейшее развитие в производстве. Однако, для этого механизма нельзя использовать методику расчета, используемую для механизмов с высшими парами. Поэтому на данный момент стоит задача разработать методику для расчета кинематических, динамических и силовых параметров механизма.

На рис. 5. изображена кинематическая схема исследуемого механизма. Два синхронно вращающихся входных звена 1 и 6 приводят в движение механизм. Нож крепится к шатуну 2, который совершает плоское движение, обеспечивая необходимую траекторию перемещения ножа. Механизм относится к механизму третьего класса, что вызывает значительные затруднения в расчете кинематических и силовых параметров.

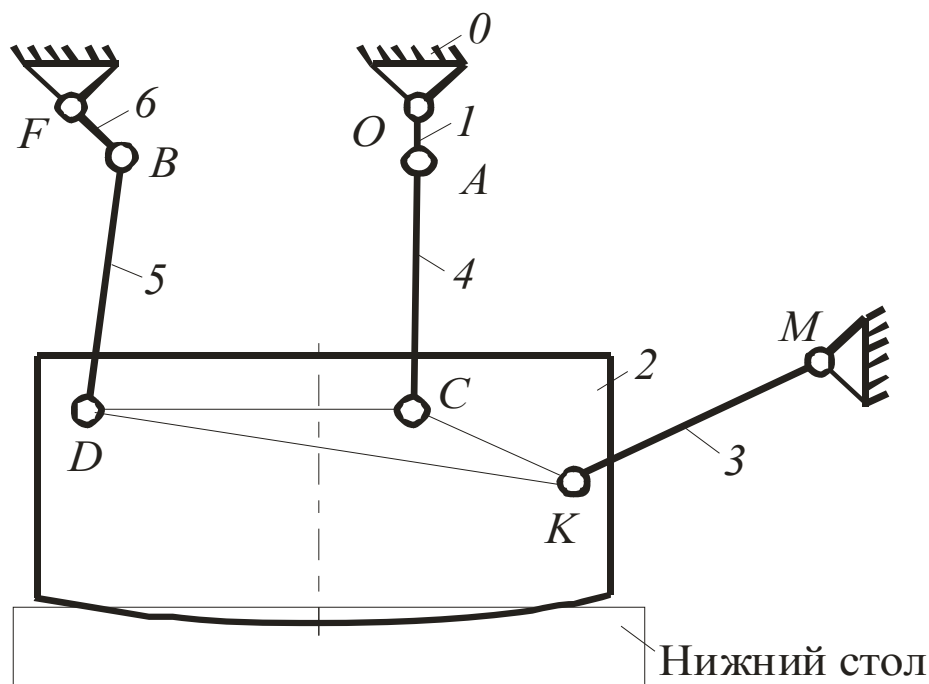


Рис. 5. Структурная схема ножниц с катящимся резом

Первым этапом расчёта механизма является его метрический анализ, в результате которого определяются линейные и угловые координаты элементов механизма для достаточно большого количества положений начального звена. Однако для механизмов 3-го класса это представляет определенные сложности [2].

Число степеней свободы определим по формуле Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - p_2 = 3 \cdot 6 - 2 \cdot 8 = 2, \quad (1)$$

следовательно, механизм имеет два начальных звена.

Формула строения механизма:

$$\begin{array}{l} (0-1) \searrow \\ (0-6) \searrow \end{array} \rightarrow (2-3-4-5), \quad (2)$$

где (2-3-4-5) – группа III класса.

Использование традиционного метода – изменения начального звена [3], для определения кинематических и силовых параметров не применимо, так как механизм всегда остается III класса.

Для выполнения метрического синтеза рассмотрим два метода: составление статически определимой системы уравнений и метод фиктивного механизма.

В настоящей работе мы проводили расчёты для 48 положений начального звена.

Исходные данные для расчёта механизма, рассматриваемого в прямоугольной системе координат:  $x_O = 0$  мм,  $y_O = 0$  мм,  $L_{OA} = 140$  мм,  $L_{FB} = 77,5$  мм,  $L_{MK} = 3000$  мм.

Для определенного положения кривошипа – 1 и 6, когда известны координаты точек A и B –  $X_A$  и  $Y_A$ ,  $X_B$  и  $Y_B$ , неизвестными являются по две координаты точек C, D и K, то есть шесть неизвестных, для определения которых можно записать шесть уравнений связей, образующих систему квадратных уравнений:

Для расчета первым методом составим систему уравнений:

$$\begin{cases} (x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2 = l_{AC}^2; \\ (x_M - x_K)^2 + (y_M - y_K)^2 = l_{MK}^2; \\ (x_K - x_C)^2 + (y_K - y_C)^2 = l_{KC}^2; \\ (x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2 = l_{CD}^2; \\ (x_K - x_D)^2 + (y_K - y_D)^2 = l_{KD}^2; \\ (x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2 = l_{BD}^2, \end{cases} \quad (3)$$

где  $l_{AC}$ ,  $l_{MK}$ ,  $l_{KC}$ ,  $l_{CD}$ ,  $l_{KD}$ ,  $l_{BD}$  – длины звеньев и расстояния между точками. Координаты точек  $A$  и  $B$  рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} x_A &= x_O + l_{OA} \cdot \cos \varphi_1; & y_A &= y_O + l_{OA} \cdot \sin \varphi_1; \\ x_B &= x_F + l_{FB} \cdot \cos \varphi_6; & y_B &= y_F + l_{FB} \cdot \sin \varphi_6, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\varphi_1$ ,  $\varphi_6$  – углы поворота звена 1 и 6 соответственно.

Для решения системы уравнений можно использовать метод последовательных приближений [4], однако при этом возникают существенные трудности, связанные с необходимостью отсеивания лишних корней.

Последовательно меняя положения начальных звеньев и решая систему уравнений, определяем координаты всех точек.

Рассмотрим второй метод – метод «фиктивного» механизма, разработанный на кафедре «Основы проектирования машин» [5].

Если кривошип 1 сделать неподвижным, то и вся кинематическая цепь потеряет подвижность. Далее мысленно разрушим шарнир  $D$ , как это показано на рис. 6.

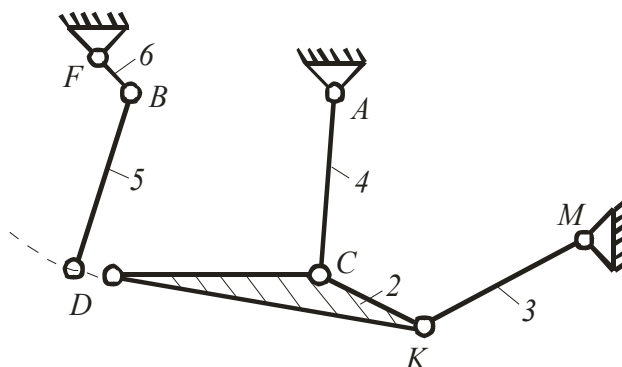


Рис. 6. Схема фиктивного механизма

В результате звенья 2, 3 и 4 становятся подвижными, и образуется механизм второго класса, состоящий из начального звена 4 и группы Ассур 1-го вида, включающей звенья 2 и 3. Далее следует определить угол шатуна 2, когда точка  $D$  звена 2 окажется на траектории точки  $D$  коромысла 5, которая является окружностью радиуса  $BD$ .

Формула строения фиктивного механизма:

$$(0-4) \rightarrow (2-3)_1. \quad (5)$$

Для расчета передаточных функций нулевого порядка использовали стандартные процедуры, описанные в работе [5]. На рис. 7 представлен алгоритм работы программы.



Рис. 7. Алгоритм расчета методом фиктивного механизма

Положение входных звеньев 1 и 6 циклически изменяется и рассчитываются координаты точек  $A$  и  $B$ . Далее в определяется положение кривошипа 4 фиктивного механизма и координаты его конца – т.  $C$ . Следующим этапом присоединяются все группы Ассура и определяются недостающие угловые и линейные координаты звеньев.

После определения координат точки  $D$  рассчитывается целевая функция по формуле:

$$CF = \sqrt{(x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2} - l_{BD}. \quad (6)$$

Если значение целевой функции превышает допустимую величину, то производится уточнение положения кривошипа фиктивного механизма. Для уточнения положения использовался метод половинного деления. Максимальное количество итераций составляло 10, при погрешности расчет 0,01 %.

Программа позволяет не только выполнять расчет, но и моделировать движение ножниц. На рис. 7 представлен пример экранной формы работы программы для одного из положений.

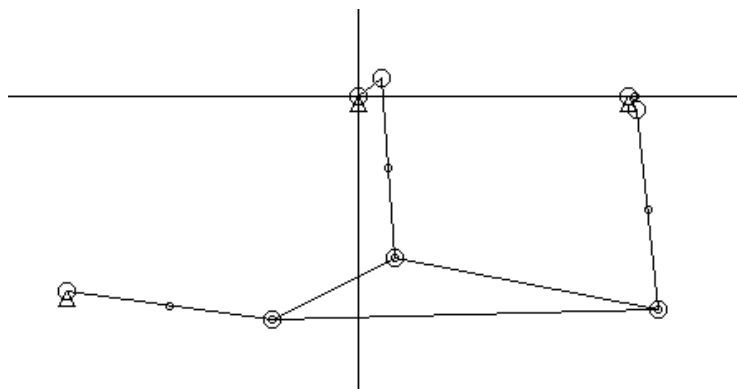


Рис. 8. Моделирование движения ножниц

Программа позволяет также выполнять расчет всех угловых и линейных координат, что позволяет производить исследование влияния размеров звеньев, положений опор и других параметров на значение величины максимальных отклонений звеньев, максимальных углов поворота звеньев.

На рис. 7 представлен график зависимости угла поворота ножа  $\varphi_{CD}$  в зависимости от угла поворота входного звена  $\varphi_1$ .

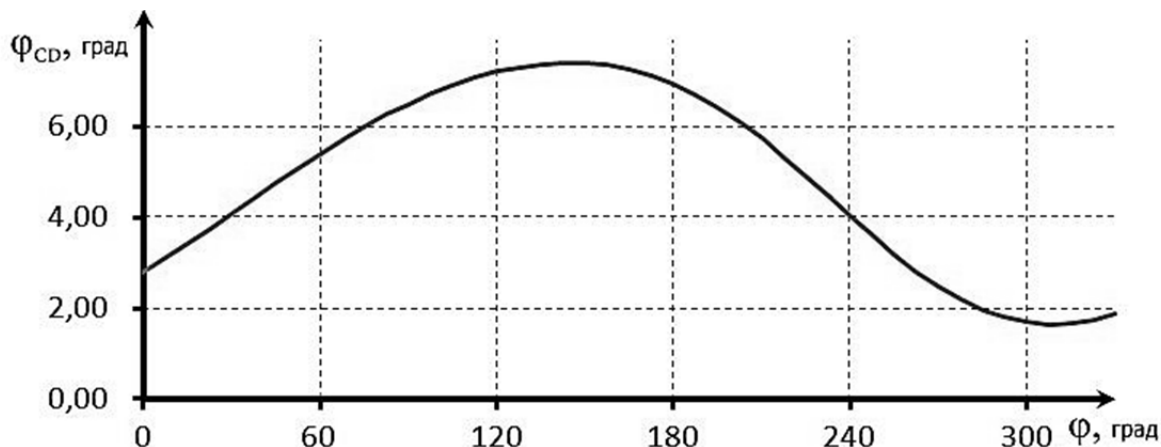


Рис. 9. График изменения угла поворота ножа  $\varphi_{CD}$  от угла поворота кривошипа

Дальнейшие исследования ножниц с катящимся резом должны быть направлены на изучение влияния размеров звеньев и положений опор на кинематические характеристики ножниц, определение оптимальных размеров звеньев для достижения наилучших показателей реза.

## ВЫВОДЫ

Разработаны два метода, позволяющих выполнять метрический синтез ножниц с катящимся резом для резки листового проката, который является механизмов 3-го класса: составлением системы уравнений, а также универсальным методом «фиктивного» механизма. Сравнение этих методов показало, что максимальная относительная разность между величинами, полученными разными способами, не превышает 0,1 %. Разработана программа, позволяющая моделировать движение механизма. Приведен график зависимости угла поворота ножа от угла поворота входного звена. Определены направления дальнейшего исследования ножниц с катящимся резом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчёта ножниц с катящимся резом / Р. А. Адамович, А. Д. Пальмин, А. М. Рогоза, Л. М. Рудельсон // Новые конструкции и исследования агрегатов и машин обработки проката : сб. науч. тр. – М. : ВНИИМетмаш, 1985. – С. 62–73.
2. Кіницький Я. Т. Практикум із теорії механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – Львів : Афіша, 2002. – 454 с.
3. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1979. – 574 с.
4. Волков Е. А. Численные методы / Е. А. Волков. – М. : Физматлит, 2003. – 248 с.
5. Владимиров Э. А. Комплексный расчет исполнительного механизма прессы с группами Ассур производственной структуры / Э. А. Владимиров, В. Е. Шоленинов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 316–321.