

## КИНЕМАТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ НОЖНИЦ С ДВОЙНЫМ РЕЗОМ

*Клюшник А.Д.*

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** металлургия, резка металла, металлургические ножницы, двойной рез, прокат.

**Аннотация.** Резка металлургического проката осуществляется в том числе на ножницах, реализующих движение ножей различным способом разными приводными механизмами. В представленных материалах приводится один из вариантов конструктивного исполнения механизма ножниц, который позволяет осуществлять рез двумя ножами одновременно. Новое техническое решение исследуется кинематически с построением планов положений, скоростей и ускорений.

## KINEMATICS OF DOUBLE-CUT METALLURGICAL SCISSORS

*Klyushnik A.D.*

*Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg*

**Keywords:** metallurgy, metal cutting, metallurgical shears, double cut, rolled products.

**Abstract.** The cutting of metallurgical rolled products is carried out, among other things, on scissors, which realize the movement of knives in various ways by different drive mechanisms. The presented materials provide one of the variants of the design of the scissor mechanism, which allows cutting with two knives at the same time. The new technical solution is investigated kinematically with the construction of plans of positions, velocities and accelerations.

Существующие ножницы для резки металла в металлургическом производстве имеют конструктивные недостатки и не обеспечивают максимально возможной производительности, кроме того, практически нет полноценного исследования этих механизмов. Прежде чем перейти к объекту исследования – ножницам с параллельными ножами, рассмотрим существующие механизмы ножниц.

Известны барабанные летучие ножницы [1], механическая система которой состоит из двух барабанов с радиально установленными на них ножами, расположенными по их образующим. В таком устройстве разрезаемому объекту придается непрерывная постоянная скорость. Резание происходит в момент встречи верхнего и нижнего ножей. Недостатками таких ножниц является переменный угол резания, отклоняющий плоскость резания от вертикали, а также необходимость обеспечивать большие усилия, т.к. резание происходит одновременно по всей ширине заготовки.

Известны также ножницы с нижним резом [2]. В такой конструкции нижний нож установлен на суппорте (ползуне), перемещающимся вверх от кривошипного или гидравлического привода; верхний нож установлен соответственно в верхнем суппорте и также совершает движение вертикально. Металлическая заготовка проходит по рольгангу между ножами и останавливается в заданном положении. При этом верхний нож опускается до

соприкосновения с металлом и останавливается, далее нижний нож поднимается и производит резание металла. Недостатком такого механизма является сложность конструкции, заключающаяся в двух приводах для обеспечения работы верхнего и нижнего ножей, которые перемещаются с остановками (по определённой программе), в зависимости от положения разрезаемого объекта.

В 2017 году д.т.н., профессором Дворниковым Л.Т. была предложена конструкция такого механизма металлургических ножниц [3], который обеспечил бы поступательное непрерывное движение ножей, с двойной встречной резкой металла. Всестороннее исследование нового технического решения механизма ножниц усложняется тем, что механизм содержит в своей структуре четырёхзвенную группу Ассур с замкнутым контуром [4]. В связи с этим на кафедре машиностроения Горного университета был предложен упрощенный вариант исполнения механизма ножниц (рис. 1), обеспечивающих резку металлургического проката одновременно двумя ножами.

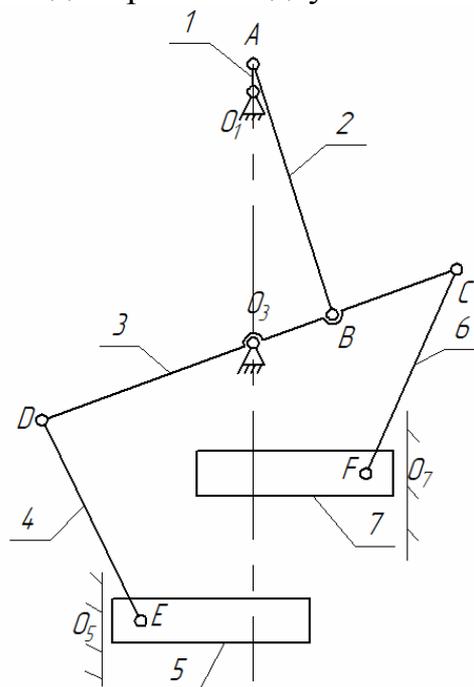


Рис. 1. Ножницы с параллельными ножами

Предлагаемые ножницы с параллельными ножами включают в себя неподвижные направляющие, кривошип 1, шатун 2, четырёхпарное коромысло 3 и два ножа 5 и 7, движущиеся навстречу друг другу, при этом четырёхпарное коромысло 3 соединяется с ножами 5 и 7 через двухпарные шатуны 4 и 6, обеспечивающие ножам устойчивое прямолинейное движение относительно неподвижных направляющих. Такая конструкция позволяет осуществлять рез как верхним, так и нижним лезвием одновременно, предоставляя новый технологический подход для улучшения эффективности и точности процесса резки металлургического проката.

Определим число степеней свободы по формуле Чебышёва П.Л. [5]:

$$W = 3n - 2p_5, \tag{1}$$

где  $n$  – число подвижных звеньев,  $n = 7$ ;

$p_5$  – число кинематических пар 5-го класса,  $p_5 = 10$ ;

$$W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1,$$

т.е. система является работоспособной, следовательно, при задании движения одному из звеньев (кривошипу 1) ползуны 5 и 7 будут двигаться вполне определённо, т.е. возвратно-поступательно.

Чтобы оценить эффективность разработанной схемы ножниц была построена их двумерная модель в программе T-Flex с использованием инструментов ассоциативной привязки и параметризации, что позволяет задать относительно движение объектам.

На рисунке 2 представлена анимация работы ножниц при задании вращательного движения кривошипу  $O_1A$ .

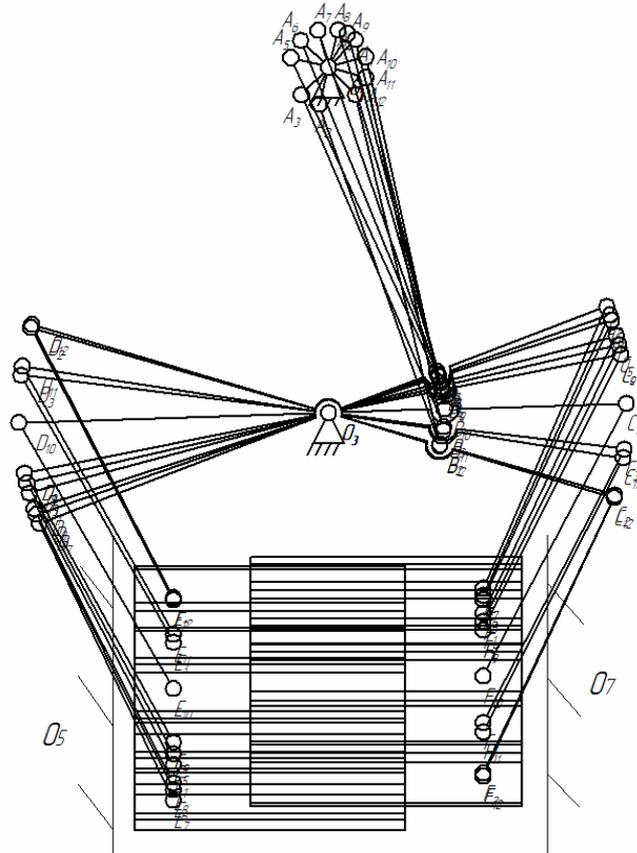


Рис. 2. План положений ножниц с параллельными ножами

Кинематический анализ механизма осуществляется графо-аналитическим методом путем построения плана скоростей.

Определяем скорость точки  $A$ :

$$V_A = l_{O_1A} \cdot \omega_1, \tag{2}$$

где  $\omega_1$  – угловая скорость кривошипа,  $c^{-1}$ ;  $l_{O_1A}$  – его длина, м.

Произвольно выбираем точку  $p$ , которая будет полюсом плана скоростей. Из полюса проводим вектор  $pa$ , который в выбранном масштабе соответствует скорости точки  $A$ .

Скорость точки  $B$  находится из системы уравнений

$$\begin{cases} \vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}, \\ \vec{V}_B = \vec{V}_{O_3} + \vec{V}_{BO_3}; \end{cases} \tag{3}$$

где  $\vec{V}_{BA} \perp AB$ ,  $\vec{V}_{O_3} = 0$ ,  $\vec{V}_{BO_3} \perp O_3B$ .

Согласно системе (3) из точки  $a$  проводим линию  $\vec{V}_{BA} \perp AB$ , а из полюса – линию  $\vec{V}_{BO_3} \perp O_3B$ , на пересечении которых фиксируем точку  $b$ .

Скорости точек  $C$  и  $D$  находятся из условия подобия, на плане скоростей эти точки будут лежать на линии, проходящей через точки  $p$  и  $b$ .

Скорость точки  $E$  определяется из системы уравнений:

$$\begin{cases} \vec{V}_E = \vec{V}_D + \vec{V}_{ED}, \\ \vec{V}_E = \vec{V}_{O_5} + \vec{V}_{EO_5}; \end{cases} \quad (4)$$

где  $\vec{V}_{ED} \perp DE$ ,  $\vec{V}_{O_5} = 0$ ,  $\vec{V}_{EO_5} \parallel$  направлению движения ползуна 5.

Скорость точки  $F$  определяется из аналогичной системы уравнений:

$$\begin{cases} \vec{V}_F = \vec{V}_C + \vec{V}_{FC}, \\ \vec{V}_F = \vec{V}_{O_7} + \vec{V}_{FO_7}; \end{cases} \quad (5)$$

где  $\vec{V}_{FC} \perp CF$ ,  $\vec{V}_{O_7} = 0$ ,  $\vec{V}_{FO_7} \parallel$  направлению движения ползуна 7.

На плане скоростей точку  $e$  находим на пересечении линий, одна из которых перпендикулярна  $DE$ , а вторая проводится вертикально. Аналогично находится точка  $f$ .

В итоге получаем план скоростей (рис. 3) исследуемого механизма в одном из положений – 9 на рисунке 2.

На рисунке 4 представлен план ускорений для этого же положения механизма, построенный также с применением графо-аналитического метода кинематики.

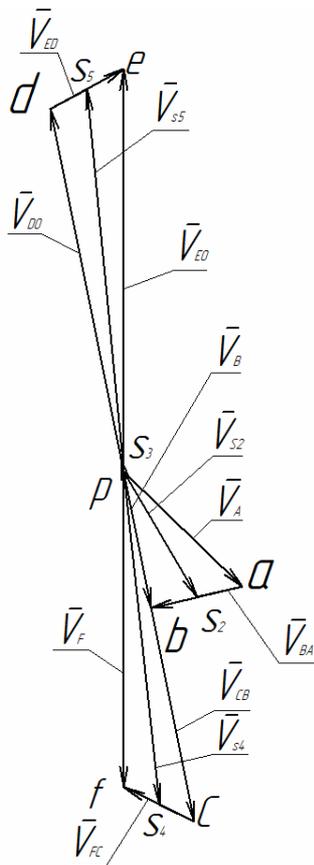


Рис. 3. План скоростей

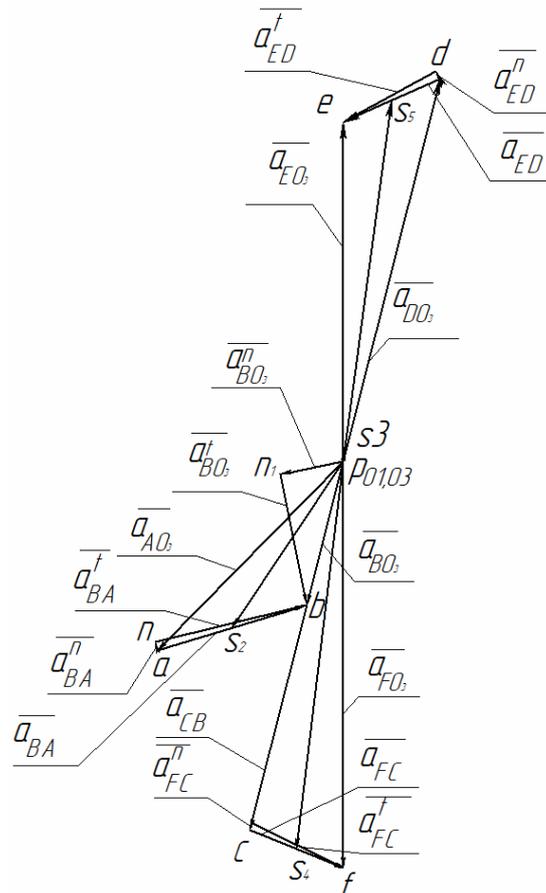


Рис. 4. План ускорений

Бесспорным преимуществом выполнения кинематических расчетов и построения в T-Flex является тот факт, что для получения информации о большом количестве положений механизма, достаточно повернуть кривошип в заданное положение. Планы скоростей и ускорений при таких условиях изменяются, благодаря ассоциативной привязки к геометрическим параметрам положения отдельных звеньев механизма.

Следующим этапом исследований нового технического решения является силовой анализ, который позволит установить взаимосвязь между структурой и размерами звеньев механизма и возникающими в системе усилиями. Полученные сведения позволят обосновать целесообразность принятого упрощения в конструкции ножниц или буду свидетельствовать о необходимости возврата к исходному варианту, содержащему в структуре четырехзвенную группу Ассур с замкнутым контуром.

Настоящая работа выполнялась под руководством заведующего кафедрой машиностроения, д.т.н., доцента Жукова И.А.

### Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Королёв А.А. Конструкция и расчёт машин и механизмов прокатных станков: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 376 с.
3. Кругликов К.А., Бычков И.В., Жуков И.А. Компьютерное моделирование металлургических ножниц с параллельными ножами // Проблемы и перспективы студенческой науки. – 2017. – № 2(2). – С. 74-77.
4. Bychkov I.V., Dvornikov L.T., Zhukov I.A. Kinematics of metallurgical cutters with parallel blades // Steel in Translation. 2019, vol. 49, no. 4, pp. 238-244. DOI: 10.3103/S096709121904003X.
5. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.

### Сведения об авторе:

*Клюшник Александр Дмитриевич* – студент.