

После определения  $\bar{t}_m$  количество аккумулированного тепла рассчитывается по формуле

$$\bar{\theta}_m = \Omega h c_m \bar{t}_m, \quad (3)$$

где  $\Omega$  – сечение слоя, м<sup>2</sup>.

Если возникает необходимость расчета температурных полей в плотном слое при неравномерном начальном распределении температур или при произвольном изменении температуры газа на входе в слой и в других сложных случаях, то следует обратиться к результатам работ зарубежных ученых, обобщенных в монографиях.

#### Список литературы

- 1 Оптимизации режима технологического процесса сушки титановых окатышей в агрегате туннельного типа / А. Л. Рутковский [и др.] // Цветные металлы. – 2021. – № 5. – С. 89–94.
- 2 Моделирование газодинамических параметров шихты в процессе получения титановых окатышей с целью оптимизации / А. Л. Рутковский [и др.] // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2022. – Т. 18, № 2 (28). – С. 63–71.
- 3 Рутковский, А. Л. Моделирование процесса формирования титановых окатышей в барабанном окомкователе / А. Л. Рутковский, Э. М. Бахтеев, Х. А. Бутов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2023. – Т. 19, № 2 (32). – С. 66–73.
- 4 Теплотехнические расчеты металлургических печей : учеб. пособие / Б. Ф. Зобнин [и др.]. – М. : Металлургия, 1982. – 360 с.

УДК 621.912.3

## РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ДЛИНЫ ЗВЕНА МЕХАНИЗМА ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА

*Н. К. ТУРСУНОВ, Ш. И. МАМАЕВ, А. Н. АВДЕЕВА, Д. И. НИГМАТОВА*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

На современном этапе, в Узбекистане, огромный рост получило сельское хозяйство, развивается горнодобывающая промышленность. Для поддержания товарооборота требуется с каждым днём всё больше и больше специализированных современных машин, которые в данный момент поставляются в республику из других стран. При дальнейшем увеличении производства и выхода его на новый уровень возникнет необходимость изготавливать все машины на месте, в Узбекистане. Развитие машиностроения потребует производства различных станков, в том числе поперечно-строгальных, которые, сейчас, импортируют в Республику Узбекистан через компанию «UZSTANEX», входящую в холдинг «StanexGroup». Главная цель любого развивающегося государства – конкурентоспособность, а она возможна только при независимости от поставщиков.

Первые попытки создания строгального станка начались с Леонардо да Винчи, а совершенствование его продолжается по сей день такими инженерами, как Халилов И. А., Хохлов А. В., Маркин Ю. С., Гебель Е. С. Данная статья рассматривает метрический синтез механизма поперечно-строгального станка. По полученной математической модели проводится оптимизация геометрических размеров его звеньев для улучшения показателей качества работы всего станка.

Строгальные, как и долбежные, станки выполняют обработку различных поверхностей, а также прорезают пазы и канавки. Основной составляющей поперечно-строгального станка являются станина, поперечина, стол, суппорт, механизм вертикальной подачи суппорта, ползун, коробка скоростей, коробка электрооборудования, механизм переключения скоростей (рисунок 1). При метрическом и кинематическом анализе и синтезе любого механизма используется схематическая – кинематическая схема. Если задан конкретный механизм, то схема вычерчивается в масштабе. Так как в статье проводится выбор оптимальных размеров звеньев, то схема станка представлена без масштаба.

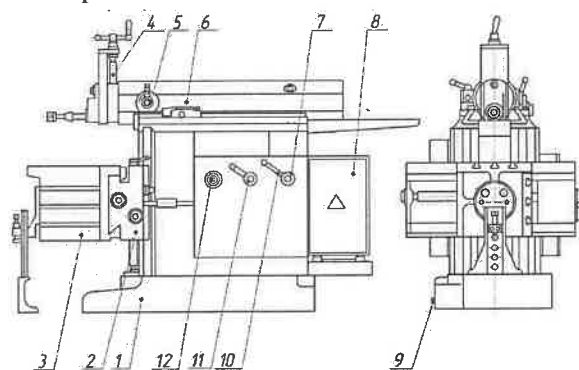


Рисунок 1 – Основные составляющие поперечно-строгального станка 7305Т:

- 1 – станина; 2 – поперечина; 3 – стол; 4 – суппорт;
- 5 – механизм вертикальной подачи суппорта; 6 – ползун;
- 7 – коробка скоростей; 8 – коробка электрооборудования;
- 9 – смазка; 10 – механизм переключения скоростей;
- 11 – коробка подач; 12 – кулисный механизм

Существует два основных метода исследования механизма для определения его кинематических характеристик: аналитический и графический. Когда необходима высокая точность определения ускорений, скоростей и перемещений точек звеньев механизма, используют аналитический метод. Методами современного программирования решается как простая, так сложная задача определения кинематических характеристик многосвязного механизма. Существует два основных метода аналитического исследования. Первый – «метод замкнутых векторных контуров», предложенный В. А. Зиновьевым. Второй – «метод преобразования координат», предложенный Ю. Ф. Морозкиным. В данной статье применен первый из предложенных методов. Составляем уравнения проекций звеньев механизма на оси координат по кинематической схеме (рисунок 2), используя условие замкнутости контуров их кинематических цепей, которое чаще применяют для плоских механизмов. Затем устанавливаем закономерность движения входного и выходного звеньев [1].

Поперечно-строгальный станок традиционно работает от электродвигателя. Далее на вал движение передается через шестистороннюю коробку передач, оборудованную скользящей шпанкой. Шпанка необходима для удерживания тройного блока шестеренок и обеспечивает валу режимы трех скоростей. Во время движения блока вдоль оси вала происходит поочередный захват шестерен с колесами, закрепленными шпонкой на валу [2]. При работе поперечно-строгального станка (см. рисунок 2) резец совершает возвратно-поступательное горизонтальное движение со скоростью рабочего и холостого хода. Движение выходного звена оценивается числом двойных (рабочего и холостого) ходов ползуна в минуту. При рабочем ходе резец снимает слой металла, поперечное сечение которого  $f = ts = ab \text{ мм}^2$ . При холостом ходе резец приходит в исходное (начальное) положение [3].

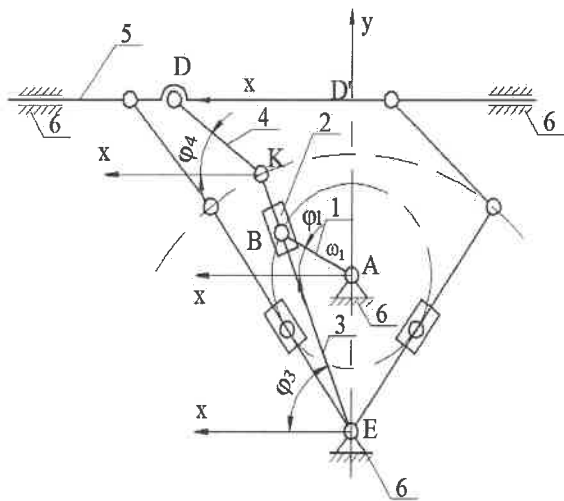


Рисунок 2 – Механизм поперечно-строгального станка:  
1 – кривошип; 2 – кулисный камень; 3 – коромысло-кулиса;  
4 – шатун; 5 – ползун; 6 – стойка

Кривошип является начальным звеном. Он совершает вращательное движение, угловая скорость которого равна  $\omega_1$ . Кривошип также является ведущим звеном и характеризуется обобщенной координатой – углом  $\varphi_1$ . Начало системы координат, совмещаем с центром кинематической пары в точке А. Горизонтальную ось  $X$  системы координат  $OXY$  проводим по горизонтальной линии через кинематические пары  $K, D$  и  $E$ . Ось  $Y$  проводим по вертикали. Обобщенные координаты  $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_4$  отсчитываются от оси  $X$  в направлении вращения кривошипа 1, по часовой линии. Фиксируем условие замкнутого контура векторов  $l_{AB}$  (звено 1),  $l_{AC}$  (звено 6) и  $l_{BC}$  (звеньев 3) в виде тригонометрического уравнения

$$EB \sin \varphi_3 = AB \sin \varphi_1 + AE; \quad (1)$$

$$EB \cos \varphi_3 = AB \cos \varphi_1. \quad (2)$$

Для дальнейшего исследования механизма обозначаем длины звеньев механизма как  $AB = l_1, AE = l_0, EK = 3, KD = l_4, AD' = a$ .

Теорема косинуса, для полученного треугольника  $\triangle ABE$  в уравнении (2) дает следующий результат:

$$EB^2 = l_0^2 + l_1^2 - 2l_1l_0 \cos(90 + \varphi_1) = l_0^2 + l_1^2 + 2l_1l_0 \sin \varphi_1; \quad EB = \sqrt{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1l_0 \sin \varphi_1};$$

$$\cos \varphi_3 = \frac{l_1 \cos \varphi_1}{EB} = \frac{l_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1l_0 \sin \varphi_1}}, \quad \text{тогда } \sin \varphi_3 = \sqrt{1 - \frac{(l_1 \cos \varphi_1)^2}{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1l_0 \sin \varphi_1}}.$$

Записываем координаты точки  $D$  через обобщенные координаты:

$$X_D = l_4 \cos \varphi_4 + l_3 \cos \varphi_3; \quad (3)$$

$$Y_D = l_0 + a = l_4 \sin \varphi_4 + l_3 \sin \varphi_3. \quad (4)$$

Продифференцируем уравнение (3) по обобщенной координате  $\varphi_4$  и определим аналог скорости ползуна (звено 5):

$$\frac{dX_D}{d\varphi_4} = l_4 \sin\varphi_4 + \frac{d\varphi_3}{d\varphi_4} l_3 \sin\varphi_3; \quad (5)$$

$$0 = l_4 \cos\varphi_4 + \frac{d\varphi_3}{d\varphi_4} l_3 \cos\varphi_3. \quad (6)$$

Определим передаточное отношение  $U_{35}$  из уравнения (6):

$$U_{35} = \frac{l_4 \cos\varphi_4}{l_3 \cos\varphi_3} = \frac{l_4 \sqrt{1 - \frac{\left( l_0 + a - l_3 \sqrt{1 - \frac{(l_1 \cos\varphi_1)^2}{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin\varphi_1}} \right)^2}{l_4}}}{l_3 \frac{l_1 \cos\varphi_1}{\sqrt{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin\varphi_1}}}. \quad (7)$$

$$V_{D\varphi} = l_4 \sin\varphi_4 + U_{35} l_3 \sin\varphi_3. \quad (9)$$

Деление уравнения передаточного отношения  $U_{35}$  (7) на уравнение (8) даёт следующий результат:

$$\operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{l_1 \sin\varphi_1 + l_0}{l_1 \cos\varphi_1}. \quad (10)$$

Дифференцируя полученное уравнение по  $\varphi_1$ , определяем формулу передаточного отношения  $U_{31}$ :

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} &= \frac{\cos^2\varphi_3}{l_1^2 \cos^2\varphi_1} (l_1^2 \cos^2\varphi_1 + l_1^2 \sin^2\varphi_1 + l_0 l_1 \sin\varphi_1) = \frac{(l_1^2 + l_0 l_1 \sin\varphi_1)}{l_1^2 \cos^2\varphi_1} \cdot \cos^2\varphi_3 = \\ &= \frac{(l_1 + l_0 \sin\varphi_1)}{l_1 \cos^2\varphi_1} \cdot \left( \frac{l_1 \cos\varphi_1}{\sqrt{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin\varphi_1}} \right)^2 = \frac{(l_1^2 + l_0 l_1 \sin\varphi_1)}{l_0^2 + l_1^2 + 2l_1 l_0 \sin\varphi_1} = U_{31}. \end{aligned}$$

Используя правило о том, что общее передаточное отношение равно произведению промежуточных, определяем передаточное отношение

$$U_{51} = U_{31} \cdot U_{35}.$$

Выведенные уравнения являются математической моделью механизма поперечно-строгального станка и могут быть использованы для дальнейших исследований и оптимизации кинематических параметров. Алгоритм и программа для вычислений оптимальных геометрических параметров станка для улучшения кинематических и динамических показателей, составленная в вычислительной среде Mathcad, дали результаты, которые представлены на рисунке 3.

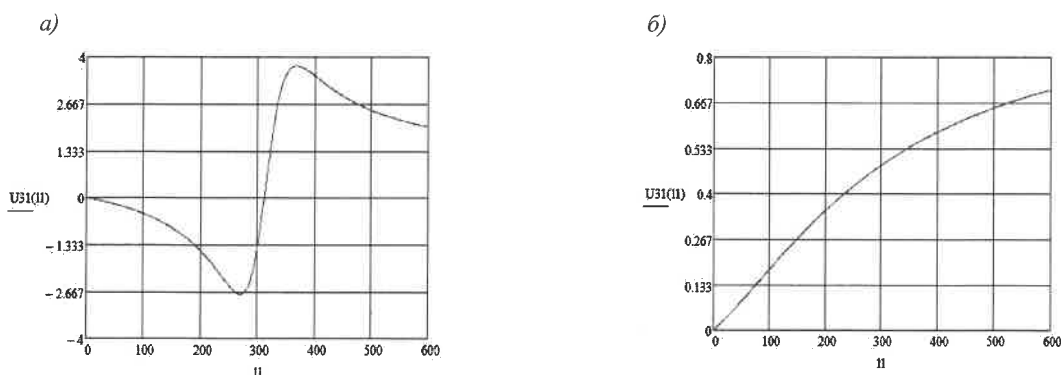


Рисунок 3 (начало) – Диаграммы зависимости изменения передаточного отношения  $U_{31}$  от длины кривошипа, за один оборот при  $\varphi_1$ , равном  $30^\circ$  (а);  $145^\circ$  (б)

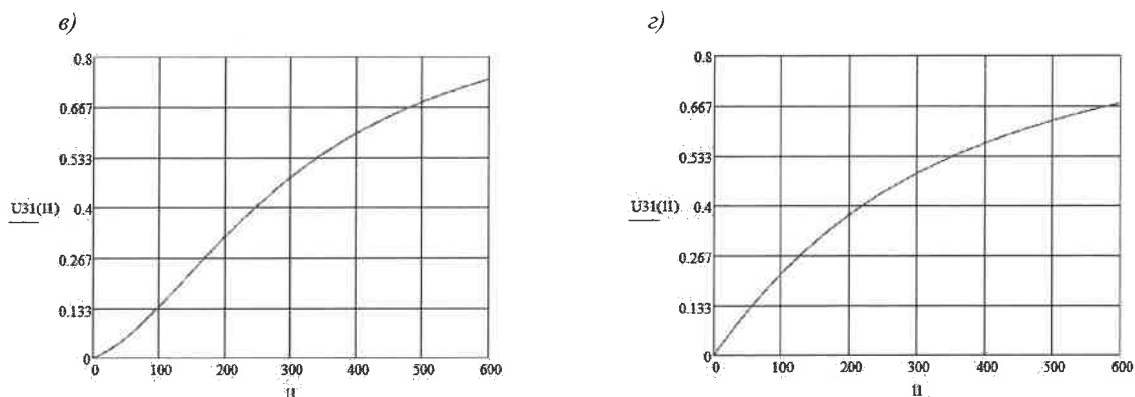


Рисунок 3 (окончание) – Диаграммы зависимости изменения передаточного отношения  $U_{31}$  от длины кривошипа, за один оборот при  $\varphi_1$ , равном  $195^\circ$  (а) и  $285^\circ$  (з)

При проведении расчетов длинам звеньев были присвоены следующие численные значения:  $l_0 = 315$  мм,  $l_3 = 525$  мм,  $l_4 = 350$  мм.

#### Список литературы

- 1 Optimization of the operation of the mechanism of the cross planer / Sh. Mamayev [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 401.
- 2 Mathematical modeling of torsional vibrations of the wheel-motor unit of mains diesel locomotive UZTE16M / Sh. Mamayev [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 401.
- 3 Avdeeva, A. Two-axle bogie vibration damping system with additional damping elements / A. Avdeeva, G. Khromova, D. Radjibaev // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 365.
- 4 Ablyalimov, O. Logistic indicators of locomotives of diesel traction in Marokand-Kattakurgan section of Uzbek railway / O. Ablyalimov, A. Avdeyeva // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 410.

УДК 669.621.74

## ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ В КОВШЕ ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*Н. К. ТУРСУНОВ, У. Т. РАХИМОВ, Т. Т. УРАЗБАЕВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Новый машиностроительный материал – высокопрочный вязкий чугун с шаровидным графитом – сочетает в себе прочность стали с технологичностью и удобством производства чугунных отливок. Этот материал способен заменить стальное литье, поковки, ковкий чугун и цветные сплавы. Использование его вместо серого и модифицированного чугуна повышает эксплуатационную надежность и долговечность деталей машин, а в некоторых случаях позволяет уменьшить их сечение и вес. Производство высокопрочного чугуна достигается за счет модификации жидкого сплава магнием или церием. Хотя магний уступает церию по технологическим свойствам, его более низкая стоимость обеспечивает ему широкое применение в промышленности.

Для проведения десульфурации чугуна использовался комплексный модификатор Refloy®FM (брикет размером 30×60 мм), производимый НПП «Технология». Химический состав этого модификатора Refloy®FM приведен в таблице 1, где указаны основные элементы и их концентрации, обеспечивающие эффективное снижение содержания серы в чугуне, а также улучшение механических свойств и структуры сплава после обработки.

Для производства отливок из чугуна с шаровидной формой графита на дно ковша добавляют модификатор Сферомаг®620L фракции 1,0–10,0 мм, который служит для сфероидизации графита. Чтобы устранить цементит и добиться равномерной структуры по всему сечению отливок, рекомендуется использовать модификатор SIBAR®4 для ранней графитизации. Дополнительно для поздней графитизации вводится INOCSIL SM80 в виде вставки. Такая комбинация модификаторов обеспечивает оптимальные условия для формирования структуры чугуна с улучшенными механическими свойствами и однородностью.