

# Исследование погрешности перемещения координатного устройства

Ю.В. Новиков<sup>a</sup>, В.Ф. Куксевич<sup>b</sup>

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

E-mail: <sup>a</sup>nov\_u\_vik@mail.ru, <sup>b</sup>pallmall5@bk.ru

**Аннотация.** Разработаны уравнения колебаний швейной головки, исследованы погрешности формирования стежков вышивки с использованием координатного устройства на вышивальном полуавтомате. Определены максимально стабильные длины стежков при частоте вращения главного вала швейной головки до 600 об/мин. Определен оптимальный метод крепления пялец. Результаты исследований могут быть использованы на производстве и при проектировании вышивального оборудования.

**Ключевые слова:** координатное устройство, стежок, пяльцы, вышивка.

## Research of Movement Error Coordinate Device

Y. Novikov<sup>a</sup>, V. Kuksevich<sup>b</sup>

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

E-mail: <sup>a</sup>nov\_u\_vik@mail.ru, <sup>b</sup>pallmall5@bk.ru

**Annotation.** Equations of oscillations of the sewing head have been developed, errors in the formation of embroidery stitches using a coordinate device on a semi-automatic embroidery machine have been studied. The maximum stable stitch lengths were determined at a rotation speed of the main shaft of the sewing head of up to 600 rpm. The optimal method for attaching the hoop has been determined. The research results can be used in production and in the design of embroidery equipment.

**Key words:** coordinate device, stitch, hoop, embroidery.

Перемещение материала остается вопросом оптимальных динамических характеристик координатного устройства с автоматическим шаговым электродвигателем. Погрешность перемещения координатного устройства и вибрации швейной головки влияют на качество стежков вышивки и формирование точности воспроизведения рисунка на ткани. Стежки укладываются под разными углами, разной длины и с разной степенью плотности.

Целью исследования является определение точности воспроизведения рисунка от перемещения пялец вышивального автомата, вибраций швейной головки, передаваемых на иглу, и ограничения максимальной длины стежка при вышивке.

В работе [4] выявлено, что на точность перемещения оказывают влияние параметры координатного устройства и привода вышивальной машины:

- шаг перемещения;
- частота перемещения в единицу времени;
- жесткость звеньев механизма;
- масса звеньев;
- зазоры в кинематических парах.

В качестве критерия, определяется точность воспроизведения рисунка на вышивальном полуавтомате.

те.

Искажение формы различного узора ткани может происходить по следующим причинам:

- растяжение ткани при закреплении пялец;
- сжатие участков ткани нитками;
- зазоры в кинематических парах передаточного механизма;
- деформация элементов конструкции (гибких тросиков, валов, пялец).

На точность перемещения принятой конструкции координатного устройства могут оказывать влияние следующие факторы:

- колебание пялец;
- изнашивание гибкого металлического тросика, наматываемого на барабан.

Проверка наиболее влияющих факторов проведена с использованием теоретических и экспериментальных исследований. Колебание пялец зависит от жесткости крепления, зазоров в кинематических парах и вибраций швейной головки. Теоретическое исследование колебаний швейной головки осуществляется с учетом составленных уравнений колебаний швейной головки по динамической модели (рис. 1):

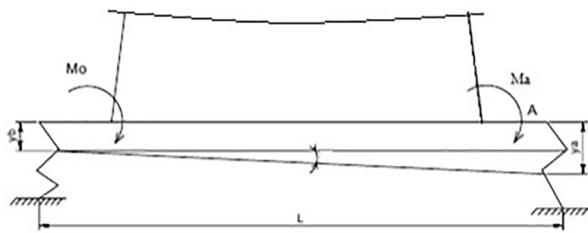


Рисунок 1 – Динамическая модель швейной головки на виброопорах

$$I_O \dot{\varphi} + k_A y_A l = M_0 \sin \Omega t; \quad (1)$$

$$I_A \dot{\varphi} + k_O y_b l = M_A \sin \Omega t; \quad (2)$$

где  $I_O$  – момент инерции швейной головки относительно опоры О;  $\varphi$  – угол поворота швейной головки;  $k_A$  – жесткость виброизолятора;  $y_A$  – текущая координата точки А;  $l$  – расстояние между опорами;  $M_0$  – суммарный момент реакций относительно опоры О;  $I_A$  – момент инерции швейной головки относительно опоры А;  $k_O$  – жесткость виброизолятора;  $y_b$  – текущая координата точки О;  $M_A$  – суммарный момент реакций относительно опоры А.

Выражения (1) и (2) представляют собой уравнения колебаний швейной головки, которые передаются на игловодитель и иглу швейной головки.

### ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТРОСИКА НА ПЕРЕДАТОЧНОЕ ОТНОШЕНИЕ

В результате предварительных испытаний было замечено искажение рисунка по одной координате. Причиной явилось разрушение полимерного экранирования тросика гибкой связи в месте намотки на барабан. В местах разрушения полимерного покрытия диаметр тросика уменьшился с 1,2 мм до 0,63 мм. Если учесть, что диаметр барабана по этой координате, с учетом канавок под ветви тросика 12,2 мм, то диаметр барабана с тросиком после разрушения полимерного покрытия можно принять равным  $D_1 = 13,4$  мм, а диаметр барабана с тросиком без разрушения покрытия принимаем  $D_2 = 14,6$  мм.

Определяя передаточные отношения двух вариантов необходимо учесть не наружные диаметры, а диаметры проходящие по оси тросиков, намотанных на барабан, которые соответственно равны  $D_1' = 12,8$  мм и  $D_2' = 13,4$  мм.

Изменение длины ветвей тросика при повороте барабана на 360 градусов для двух вариантов:

$$D_1' \cdot \pi = 40,2 \text{ мм.}$$

$$D_2' \cdot \pi = 42,9 \text{ мм.}$$

При общем передаточном отношении  $U = 157$  рад/м перемещение каретки будет равным изменению ветвей тросика, поэтому изменение длины ветвей тросика с разрушенным полимерным покрытием за один борт составит 6,3 %.

Из расчета можно сделать вывод, что при уменьшении диаметра стального гибкого тросика передаточное отношение от барабана к каретке уменьшается.

### ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ ПЯЛЕЦ НА КАЧЕСТВО РИСУНКА ВЫШИВКИ

Разработана специальная тест-программа (рис. 2), позволяющая отслеживать изменение длины стежка в различных направлениях.

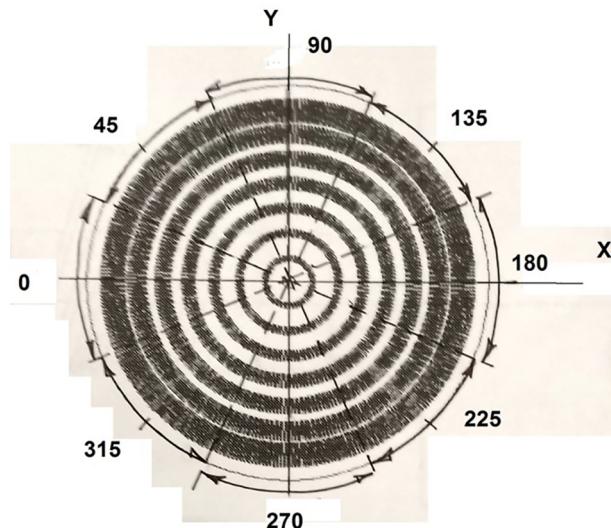


Рисунок 2 – Рисунок тест программы исследования качества стачивания

Одним из факторов, влияющих на качество вышивки, является способ крепление пялец.

В результате предварительных экспериментов оказалось, что при креплении пялец способом (а) на рисунке 3 наблюдается изменение длины стежков по координате  $X$ , что предположительно могло являться следствием колебаний пялец во время перемещения и в связи с малой жесткостью материала.

Проведены экспериментальные исследования для двух способов крепления пялец и различных длин стежка  $S$  при выполнении зигзагообразных строчек по координатам  $X$  и  $Y$ . В итоге обработки результатов получены отклонения от задаваемых величин длин  $S$  стежков в процентах. Обработанные результаты исследований для способов крепления пялец (рис. 3 а, б) к кронштейну приведены в таблице 1.

Из анализа значений погрешностей (табл. 1) следует, что крепление пялец способом (б) на рисунке 3, дает более качественный стежок, чем крепление пялец способом (а) на рисунке 3.

Нужно отметить, что для различных длин стежка отклонение от заданного значения различны, что связано с методом крепления пялец, с величиной перемещения каретки (к которой крепится кронштейн), с колебанием пялец после прекращения перемещения (остановки).

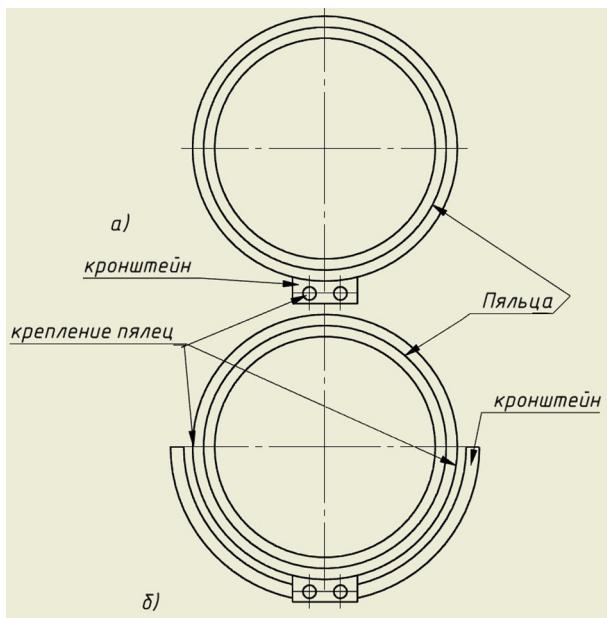


Рисунок 3 – Способы крепления пялец к кронштейну

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ СТЕЖКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЯЛЕЦ

Представляет интерес погрешность изменения длины стежков при перемещении пялец не только в направлении  $X$  и  $Y$ , а также при изменении угла перемещения.

Исследования проводились с использованием тест программы (рис. 2) для метода крепления пялец способом (рис. 3 а). Окружность предполагаемой вышивки (тест) разделена на 8 секторов.

В результате обработки результатов получены отклонения от задаваемых величин углов наклона  $A$  стежков в процентах. Обработанные результаты для каждого сектора представлены в таблице 2.

Из исследований следует, что минимальная погрешность длины стежка достигается при углах  $90^\circ$  и  $270^\circ$ . Отметим, что в симметрично расположенных секторах отклонения от заданной длины стежка  $S$  различны.

Таблица 1 – Отклонения длин  $S$  стежков в процентах от способов крепления пялец

$S, \text{мм}$	1	2	3	4	5	6	7	
Вариант								
Рисунок 3 а	10 %	5 %	5 %	10 %	8 %	5 %	2 %	По оси X
Рисунок 3 б	5 %	3,5 %	4,5 %	5 %	5 %	1,5 %	1 %	
Рисунок 3 а	10 %	10 %	6,5 %	7,7 %	5 %	4,5 %	2 %	По оси Y
Рисунок 3 б	5 %	5 %	3,5 %	5 %	2 %	1,5 %	1 %	

Таблица 2 – Отклонения длин стежков в процентах от задаваемых величин углов перемещения пялец

$A$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	$225^\circ$	$270^\circ$	$315^\circ$
$S, \text{мм}$								
1	10 %	4,9 %	2,8 %	4,6 %	9,1 %	4,4 %	5,6 %	5,6 %
2	5 %	4,1 %	2,6 %	4,2 %	5,1 %	4,7 %	3,2 %	4,4 %
3	5 %	3,9 %	2,8 %	2,4 %	3,4 %	2,8 %	1,3 %	5,6 %
4	8 %	7,3 %	5,1 %	5,8 %	7,3 %	6,2 %	4,1 %	4,3 %
5	6 %	5,6 %	3,1 %	3,8 %	4,4 %	3,7 %	2,4 %	3,2 %
6	5 %	4,8 %	2 %	2,8 %	4,7 %	3,2 %	1,2 %	2,2 %
7	3 %	2,3 %	1,1 %	1,3 %	1,7 %	1,6 %	0,6 %	1,8 %

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ СТЕЖКА

Использование неавтоматизированного электропровода не позволяет управлять частотой вращения главного вала при изменении длины стежка, что налагивает ограничения на максимальную длину стежка при вышивке, хотя и делает вышивальный полуавтомат более дешевым.

Максимально возможная длина стежка зависит от  $\varepsilon_{max}$  – ускорение ротора шагового двигателя, при котором имеет место стабильная работа;  $U$  – передаточного отношения ротора шагового двигателя к каретки координатного устройства; времени перемещения каретки  $t_k = 0,5 \cdot T$ , где  $T$  – длительность кинематического цикла; частоты вращения главного вала  $n$ .

У вышивальных полуавтоматов рабочая ча-

стота вращения главного вала составляет до  $n = 600$  об/мин:

Тогда, время оборота главного вала

$$T = 60 / n = 60 / 600 = 0,1 \text{ с.}$$

Время перемещения каретки

$$tk = 0,5 \cdot T = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ с.}$$

Угловое ускорение принимаем равным

$$\varepsilon_{max} = 5000 \text{ с}^2.$$

Определяем передаточное отношение от вала шагового электродвигателя к каретке

$$U = \Delta a / \Delta S,$$

где  $\Delta a$  – дискрета угла поворота шагового электродвигателя,  $\Delta a = 0,0314$  рад;  $\Delta S$  – перемещение каретки,  $\Delta S = 0,0002$  м.

Тогда

$$U = 0,0314 / 0,0002 = 157 \text{ рад/м.}$$

Линейное ускорение каретки

$$a_{max} = \varepsilon_{max} / U.$$

где  $\varepsilon_{max}$  – угловое ускорение,  $\varepsilon_{max} = 5000 \text{ с}^2$ ;  $U$  – передаточное отношение,  $U = 157$  рад/мин.

Имеем

$$a_{max} = 5000 / 157 = 31,85 \text{ м/с}^2.$$

Максимально возможная длина стежка

$$S_{max} = \frac{t_k^2}{4} \cdot a_{max} = \frac{0,05^2}{4} \cdot 31,85 = 0,02 \text{ м.}$$

Теоретически на вышивальном полуавтомате можно получать вышивки с длиной стежка до 20 мм при частоте главного вала до 600 об/мин.

Подтверждение расчетов экспериментальным

исследованием осуществлялось по тест-программе рисунка 2. Величина стежка внутреннего кольца, вышиваемого гладью, соответствует 2 мм, а величина стежка последующих колец увеличивается на 2 мм, величина стежка наружного кольца соответствует 14 мм. Вышивка выполнялась из середины сектора 0 против часовой стрелки.

При заливки гладью наружного кольца с длиной стежка 14 мм в секторе, соответствующем 315 градусов, начались пропуски стежков, что соответствует невозможности реализации соответствующих длин стежков в данной области сектора круга тест-программы.

Результат экспериментальных исследований не подтвердил теоретические исследования о возможности выполнения стежков при частотах до 600 об/мин вращения главного вала швейной головки и длиною до 20 мм. В теоретических исследованиях по определению максимальных стежков не учтены колебания швейной головки (формулы 1 и 2), так как они представляют сложную функцию старт-стопного режима движения.

Экспериментально определено, что стежок длиною более 12 мм при использовании предлагаемого координатного устройства получить нельзя.

## ВЫВОДЫ

В ходе работы разработаны уравнения колебаний швейной головки, доказана возможность использования координатного устройства на вышивальном полуавтомате при частоте вращения главного вала швейной головки до 600 об/мин и максимальной длине стежка 12 мм. Выбран оптимальный метод крепления пялец. Результаты исследований могут быть использованы на производстве и при проектировании вышивального оборудования.

При использовании вышивального модуля с серийным координатным устройством малые швейные, обувные и частные предприятия получат возможность иметь недорогое производительное оборудование для производства швейных изделий с вышивкой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибрации в технике : справочник : в 6 т. / В. В. Алесенко [и др.] ; под ред. М. Д. Генкина ; ред. совет: В. Н. Челомей (пред.) [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1981. – Т. 5 : Измерения и испытания. – 496 с.
2. Основы конструирования и расчета машин и аппаратов легкой промышленности : учебник / Н. Н. Архипов [и др.] ; под ред. М. М. Майзеля. – Москва : Машгиз, 1963. – 600 с.
3. Краснер, С. Ю. Оценка качества процессов в механизмах вышивальных полуавтоматов : монография / С. Ю. Краснер, Ю. В. Новиков ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2019. – 190 с.
4. Optimization of the parameters of the sewing thread cutting process / Yu. V. Novikov, S. Yu. Krasner. – Annual Journal of Technikal Universiti of Varna. – 2020. – Vol. 4, № 1. – P. 55–66.
5. Новиков, Ю. В. Разработка мехатронного модуля обрезки ниток / Ю. В. Новиков, С. Ю. Краснер // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 10 (751). – С. 62–73.

## REFERENCES

1. Vibrations in technology : reference book : in 6 vol. / V. V. Alesenko [et al.] ; edited by M. D. Genkina ; ed. council: V. N. Chelomey (pres.) [et al.]. – Moscow : Mechanical Engineering, 1981. – Vol. 5 : Measurements and tests. – 496 p.
2. Fundamentals of design and calculation of machines and devices of light industry : a textbook for mechanical specialties of higher educational institutions of light industry / N. N. Arkhipov [et al.] ; edited by M. M. Maisel. – Moscow : Mashgiz, 1963. – 600 p.
3. Krasner, S. Yu. Assessing the quality of processes in the mechanisms of semi-automatic embroidery machines : monograph / S. Yu. Krasner, Yu. V. Novikov ; EE "VSTU". – Vitebsk, 2019. – 190 p.
4. Optimization of the parameters of the sewing thread cutting process / Yu. V. Novikov, S. Yu. Krasner. – Annual Journal of Technical University of Varna. – 2020. – Vol. 4, № 1. – P. 55–66.
5. Novikov, Yu. V. Development of a mechatronic thread trimming module / Yu. V. Novikov, S. Yu. Krasner // News of higher educational institutions. Mechanical engineering. – 2022. – № 10 (751). – P. 62–73.

## SPISOK LITERATURY

1. Vibracii v tekhnike : spravochnik : v 6-ti t. / V. V. Alesenko [i dr.] ; pod red. M. D. Genkina ; red. Sovet: V. N. Chelomej (pred.) [i dr.]. – Moskva : Mashinostroenie, 1981. – T. 5 : Izmereniya i ispytaniya. – 496 s.
2. Osnovy konstruirovaniya i rascheta mashin i apparatov legkoj promyshlennosti : uchebnik / N. N. Arhipov [i dr.] ; pod red. M. M. Majzelya. – Moskva : Mashgiz, 1963. – 600 s.
3. Krasner, S. Yu. Ocenna kachestva processov v mekhanizmakh vyshival'nyh poluavtomatov : monografiya / S. Yu. Krasner, Yu. V. Novikov ; UO «VGTU». – Vitebsk, 2019. – 190 s.
4. Optimization of the parameters of the sewing thread cutting process / Yu. V. Novikov, S. Yu. Krasner. – Annual Journal of Technikal Universiti of Varna. – 2020. – Vol. 4, № 1. – P. 55–66.
5. Novikov, Yu. V. Razrabotka mekhatronnogo modulya obrezki nitok / Yu. V. Novikov, S. Yu. Krasner // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie. – 2022. – № 10 (751). – S. 62–73.

Статья поступила в редакцию 05.01.2024.