

УДК 687.053

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМАТЫВАНИЯ НИТИ СО ШПУЛИ  
В ЧЕЛНОКЕ ШВЕЙНОЙ МАШИНЫ  
С УЧЕТОМ РЕГУЛЯТОРА НАТЯЖЕНИЯ НИТИ**

**ANALYSIS OF THE PROCESS OF UNWINDING THE BOBBIN THREAD  
IN THE SHUTTLE OF A SEWING MACHINE TAKING  
INTO ACCOUNT THE THREAD TENSION REGULATOR**

*В.В. ЕГОРОВ, А.В. МАРКОВЕЦ, Л.С. МАЗИН*  
*V.V. EGOROV, A.V. MARKOVETS, L.S. MAZIN*

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)  
(St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)  
E-mail: mash@sutd.ru

*Анализируется процесс раскручивания шпули в челноке швейной машины. Разработаны динамическая и математическая модели раскручивания шпули при сматывании с нее нити, учитывающие траекторию движения зубчатой рейки, силу сухого трения в регуляторе натяжения челночной нити и момент сил сухого трения между шпулей и осью шпульного колпачка. С помощью ЭВМ выполнено исследование раскручивания шпули при образовании челночного стежка.*

*This article examines the process of the spool's unwinding in the shuttle of a sewing machine. We developed dynamic and mathematical models of the unwinding during thread feeding. During modeling of this process trajectory of the toothed rack and the force of dry friction in the bobbin's thread tension regulator and also the moment of dry friction between spool and the bobbin's axis were taken in to account. Article also presents computer analysis of the unwinding caused by lockstitching.*

**Ключевые слова:** швейная машина, механизм челнока, математическое моделирование.

**Keywords:** sewing machine, shuttle mechanism, mathematical modeling.

В настоящее время на швейных предприятиях применяются высокоскоростные швейные машины челночного стежка. Частота вращения главного вала в указанных

швейных машинах может достигать 6000 об/мин и выше [1]. При таких показателях скоростей особое значение приобретает процесс затягивания образовавшегося

стежка в ткани и сматывание игольной (верхней) и челночной (нижней) нитей соответственно с катушки и шпули. При неверно выбранных значениях параметров регулирования натяжения верхней и нижней нитей возможен их обрыв, ухудшение качества шва. В статье рассматривается задача моделирования динамики шпули в процессе сматывания с нее нити при образовании челночного стежка, с учетом силы сухого трения, создаваемой регулятором натяжения.

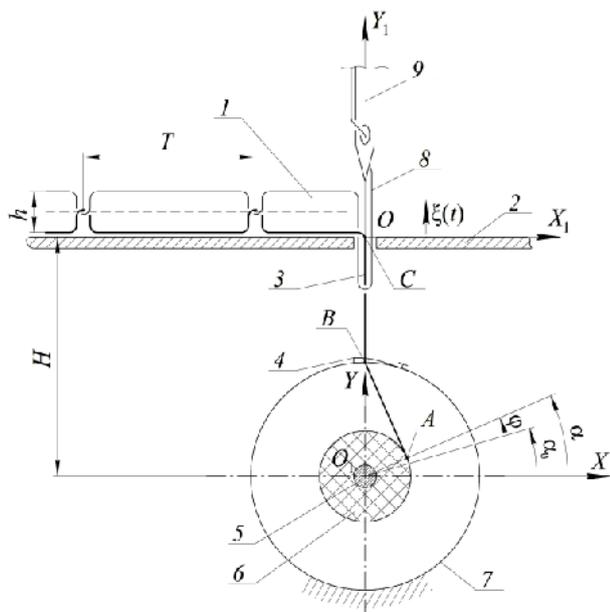


Рис. 1

Расчетная схема взаимодействия нити и шпули в процессе образования челночного стежка представлена на рис. 1, где 1 – стачиваемые материалы; 2 – игольная пластина; 3 – челночная нить; 4 – плоская пружина, регулирующая натяжение челночной нити; 5 – ось вращения шпули; 6 – шпуля; 7 – шпульный колпачок; 8 – игольная нить; 9 – игла;  $T$  – длина стежка;  $h$  – толщина стачиваемых материалов в сжатом состоянии. Стачиваемые материалы 1 вместе с участком нити образовавшегося стежка зажаты между игольной пластиной (зубчатой рейкой) и нижней плоскостью прижимной лапки (зубчатая рейка и прижимная лапка на рис. 1 не показаны). После выхода иглы из стачиваемых материалов начинается их перемещение. Будем считать, что в этот период перемещения

нити относительно стачиваемых материалов не происходит, то есть нить движется вместе с тканью за счет движения зубчатой рейки вдоль игольной пластины (ткани относительно зубчатой рейки не перемещаются). В этом случае движение материалов вдоль игольной пластины приводит к сматыванию челночной нити 3 со шпули 6, причем это сматывание происходит периодически, за каждый оборот главного вала швейной машины. Нижняя нить проходит через глазок в шпульном колпачке 7 и прижимается к шпульному колпачку пластинчатой пружиной 4, создающей требуемое натяжение челночной нити. При сматывании нити шпуля вращается вокруг неподвижной оси 5 (в первом приближении примем, что шпульный колпачок остается неподвижным за все время движения).

Будем считать, что шпуля является абсолютно твердым телом массы  $m$  и моментом инерции  $J$ ; нить является растяжимой и безмассовой; между шпулей и осью ее вращения зазор мал и им можно пренебречь. Динамическую модель рассматриваемой системы представим в виде, показанном на рис. 2, где 1 – шпуля; 2 – участок нити АВ от шпули до плоской пружины; 3 – плоская пружина, регулирующая натяжение челночной нити; 4 – участок нити ВС от плоской пружины до игольной пластины.

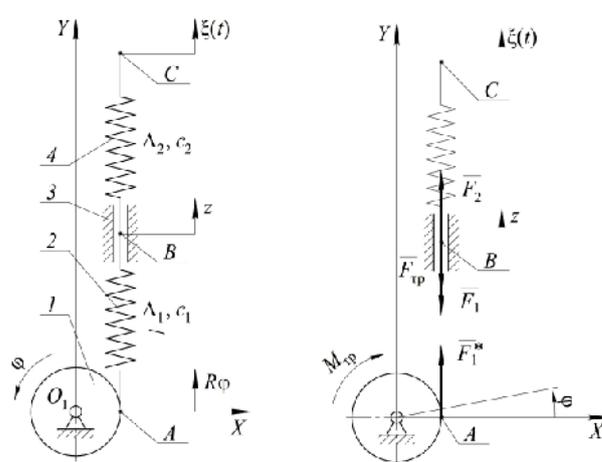


Рис. 2

Введем неподвижную систему координат  $O_1XY$  (рис. 1). Обозначим  $\alpha$  – угол по-

ворота шпули ( $\alpha = \alpha_0 + \varphi$ ,  $\alpha_0 = \text{const}$  – угол  $\alpha$  при  $t = 0$ ,  $\varphi = \varphi(t)$  – угол поворота шпули, отсчитываемый от положения  $\alpha = \alpha_0$ );  $\xi(t)$  – кинематическое внешнее воздействие (рис. 2 – расчетная схема и динамическая модель), оказываемое нитью на шпулю через элемент сухого трения;  $\Delta_1$  – деформация нити на участке АВ;  $\Delta_2$  – деформация нити на участке ВС.

На шпулю действуют:  $M_{\text{тр}}$  – момент сил сухого трения между шпулей и осью шпульного колпачка (корпусом шпульного колпачка);  $\bar{F}_1^*$  – сила, возникающая в нити вследствие ее деформации  $\Delta_1$  на участке АВ. На участках АВ и ВС на нить действуют: сила  $\bar{F}_1$ , ( $|\bar{F}_1| = |\bar{F}_1^*|$ ); сила  $\bar{F}_2$ , возникающая в нити вследствие ее деформации  $\Delta_2$  на участке ВС;  $\bar{F}_{\text{тр}}$  – сила сухого трения, возникающая в плоской пружине.

Нетрудно показать, что математическая модель рассматриваемой системы имеет вид:

$$J\ddot{\varphi} = -M_{\text{тр}} + F_1 R, \quad F_2 = F_{\text{тр}} + F_1. \quad (1)$$

Входящие в (1) момент трения  $M_{\text{тр}}$  и силу трения  $F_{\text{тр}}$  представим в виде:

$$M_{\text{тр}} = M_0 \text{sign}(\dot{\varphi}), \quad F_{\text{тр}} = F_0 \text{sign}(\dot{z}), \quad (2)$$

где  $M_0$  – момент силы сопротивления (сухого трения) шпули о шпульный колпачок;  $F_0$  – сила сопротивления (сухого трения) между плоской пружиной регулятора натяжения нити и нитью.

Силы  $F_i$ ,  $i = 1, 2$  возникают только в том случае, если нить на участках АВ и ВС растянута. С учетом малости  $\Delta_i$ ,  $i = 1, 2$  можно записать, что:

$$F_i = \begin{cases} c_i \Delta_i & \text{при } \Delta_i > 0, \\ 0 & \text{при } \Delta_i \leq 0, \end{cases} \quad (3)$$

где  $i = 1, 2$ ,  $c_i = EF/L_i$  – жесткость нити на участках АВ и ВС (приближенно);  $E$  – модуль упругости;  $F$  – площадь поперечного сечения нити;  $L_i$  – длины участков АВ и ВС соответственно (демпфирование в выражениях для сил  $F_1$  и  $F_2$  в первом приближении из-за его малости не учитывается).

Величины  $\Delta_i$ ,  $i = 1, 2$  могут быть найдены из выражений:

$$\Delta_1 = z - R\varphi, \quad \Delta_2 = \xi(t) - z. \quad (4)$$

Итак, математическая модель рассматриваемой системы представляет собой систему дифференциальных уравнений (1) при учете (2)...(4).

В выражение силы  $F_i$  (см. (3), (4)) входит величина  $\xi(t)$  (кинематическое внешнее воздействие). Как видно из рис. 1, за каждый оборот главного вала швейной машины со шпули должно быть снято столько нити, сколько необходимо для образования одного стежка. Это количество нити равно сумме длины стежка  $T$  и толщины стачиваемых материалов  $h$ . Исходя из сказанного, зависимость  $\xi(t)$  может быть представлена в виде:

$$\xi(t) = x_{\text{тк}}(t) + \eta(t), \quad (5)$$

где  $x_{\text{тк}}(t)$  – зависимость, выражающая потребление нити со шпули из-за перемещения стачиваемых материалов на длину стежка  $T$ ;  $\eta(t)$  – зависимость, характеризующая сматывание нити со шпули в момент затягивания стежка из-за перемещения узелка челночного переплетения в середину стачиваемых материалов (вверх относительно игольной пластины).

При перемещении стачиваемых материалов зажатые между зубчатой рейкой и прижимной лапкой ткани движутся над игольной пластиной по траектории, близкой к эллипсу. Это означает, что перемещение узелка переплетения верхней и нижней нити происходит также по участку эллипсной траектории. Таким образом,

можно предположить, что за один цикл транспортирования материалов со шпули должно быть смотано количество нити, равное сумме длины стежка и величины  $r_1$  подъема зубчатой рейки над игольной пластиной (как правило, величина  $r_1$  принимается равной высоте зубьев рейки [2], что сопоставимо с толщиной стачиваемых материалов  $h$ ). Вследствие малости величины  $r_1$  будем приближенно считать, что входящая в (5) зависимость  $\eta(t) \equiv 0$ , то есть

$$\xi(t) \approx x_{\text{тк}}(t). \quad (6)$$

В дальнейшем влияние  $\eta(t)$  на зависимость  $\xi(t)$  необходимо исследовать подробнее, для чего следует проанализировать совместное движение рабочих органов швейной машины в период затягивания стежка.

Обозначим  $X_Q(t)$ ,  $Y_Q(t)$  – зависимости, характеризующие перемещение среднего зуба  $Q$  зубчатой рейки относительно игольной пластины. Указанные зависимости могут быть определены в результате кинематического анализа механизма транспортирования материалов или заданы в виде требуемой эллипсной траектории [2], например, в виде:

$$\begin{aligned} X_Q &= a \cos(\omega t + \beta), \\ Y_Q &= Y_S + b \sin(\omega t + \beta), \end{aligned}$$

где  $\beta = 0,5(\pi - \varphi_p)$ ;  $b = r_1/(1 - \sin \beta)$ ;  $Y_S = r_1 - b$ ;  $a = 0,5T/\cos \beta$ ;  $\varphi_p$  – угол рабочего хода механизма транспортирования материалов.

При движении зубчатой рейки вместе с тканями вдоль игольной пластины изменяется расстояние

$$L_Q(t) = \sqrt{X_Q(t)^2 + Y_Q(t)^2}$$

между точкой  $O$  выхода нижней нити из игольной пластины (рис. 1) и точкой  $Q$ . С учетом сделанного предположения (см. (6)) о характере потребления нижней нити со шпули зависимость  $\xi(t)$  может быть представлена в виде:

$$\xi(t) = \begin{cases} 0,5T - L_Q + (i-1)T & \text{при } Y_Q(t) > 0, \\ 0 & \text{при } Y_Q(t) \leq 0, \end{cases}$$

где  $i = \overline{1, N}$  – порядковый номер стежка.

С использованием полученных выражений в среде MATLAB выполнено моделирование динамики шпули, для чего была разработана программа. Вычисления проводились при  $J=2,12 \cdot 10^{-7} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ;  $E=1,42 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ ;  $F=3,142 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$ ;  $\omega = 1000 \text{ об/мин}$ ;  $F_0 = 0,5 \text{ Н}$ ;  $M_0 = (1,16 \dots 5,00) \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

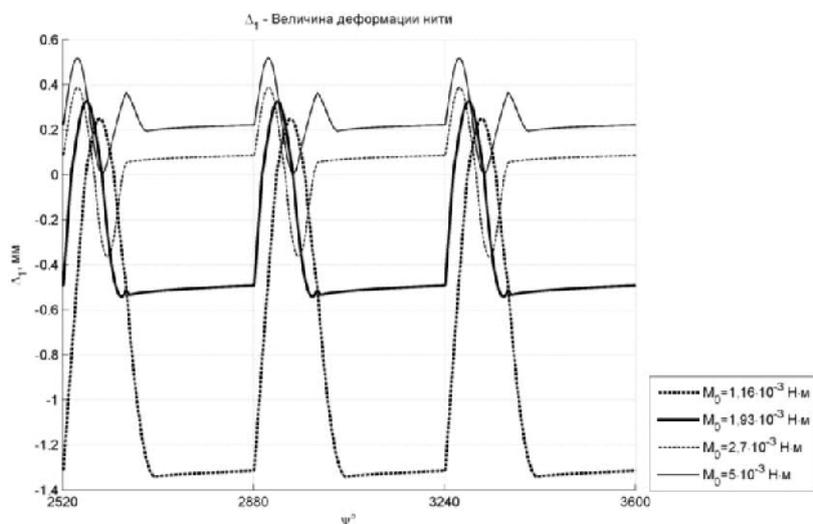


Рис. 3

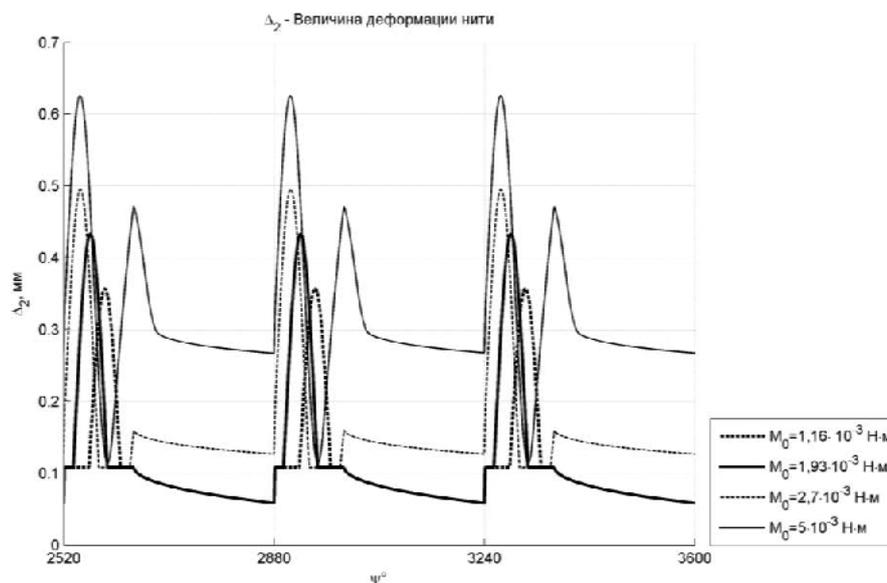


Рис. 4

На рис. 3 и 4 представлены графики зависимостей  $\Delta_i(\psi)$ ,  $i = 1, 2$ ,  $\psi = \omega t$  (рис. 3 – зависимость  $\Delta_1(\psi)$  при  $M_0 = [1,16 \cdot 10^{-3}; 1,93 \cdot 10^{-3}; 2,7 \cdot 10^{-3}; 5 \cdot 10^{-3}]$  Н·м ( $M_0/R = [0,3; 0,5; 0,7; 1,3]$  Н); рис. 4 – зависимость  $\Delta_2(\psi)$  при  $M_0 = [1,16 \cdot 10^{-3}; 1,93 \cdot 10^{-3}; 2,7 \cdot 10^{-3}; 5 \cdot 10^{-3}]$  Н·м ( $M_0/R = [0,3; 0,5; 0,7; 1,3]$  Н)). Для получения установившегося режима движения шпули анализировались десять последовательных циклов образования стежка. На графиках показаны зависимости для трех последних циклов.

На каждом цикле может быть выделено два характерных периода, один из которых соответствует потреблению челночной нити,  $\xi(t) \neq 0$ , что приводит к раскручиванию шпули (при этом  $\Delta_i \neq \text{const}$ ,  $i = 1, 2$  (рис. 3 и 4)). При  $\xi(t) = 0$  нить не потребляется, а  $\Delta_i(\psi)$  изменяются, так как деформированные участки нити АВ и ВС возвращаются в исходное положение.

Увеличение момента  $M_0$  (рис. 3) приводит к увеличению деформации  $\Delta_1$  и силы  $F_1$  на участке АВ, что может приводить к обрыву нити и негативно влияет на качество строчки. При уменьшении  $M_0$  значения  $\Delta_1(\psi)$  на некоторых участках изменения  $\psi$  становится отрицательным – возникает эффект провисания нити, что связано с чрезмерным разматыванием нити со

шпули. Зависимость  $\Delta_2(\psi)$  не принимает отрицательных значений, то есть отсутствуют провисания нити. При значениях  $M_0/R > F_0$  в периоды, где потребления нити не происходит, наблюдается остаточное натяжение нити, что может привести к избыточному затягиванию стежка челночной нитью и, как следствие, к некачественной строчке. Как видно из рис. 3 и 4, в моменты времени, при которых заканчивается потребление нити (при  $\xi(t) = 0$ ), на участках АВ и ВС наблюдается разнонаправленное изменение деформаций  $\Delta_i$ ,  $i = 1, 2$ :  $\Delta_2$  убывает, а  $\Delta_1$  возрастает. В рассматриваемый момент времени, хотя нить и не потребляется ( $\xi(t) = 0$ ), но из-за сил натяжения, возникших на участке ВС, происходит вытягивание нити из шпульного колпачка (на участке АВ) через пластинчатую пружину.

## ВЫВОДЫ

Выполнено исследование на ЭВМ процесса раскручивания шпули в челноке швейной машины. Разработанное программное обеспечение может быть использовано при конструировании швейных машин челночного стежка, а также при наладке швейных машин на производстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Сторожев В.В.* Машины и аппараты легкой промышленности. – М.: Издательский центр "Академия", 2010.

2. *Марковец А. В.* Динамический анализ механизмов транспортирования материалов швейных машин. – СПб.: СПГУТД, 2010.

## REFERENCES

1. *Storozhev V.V.* Mashiny i apparaty legkoj promyshlennosti. – M.: Izdatel'skij centr "Akademija", 2010.

2. *Markovec A. V.* Dinamicheskij analiz mehanizmov transportirovanija materialov shvejnyh mashin. – SPb.: SPGUTD, 2010.

Рекомендована кафедрой машиноведения. Поступила 12.11.14.

---