

УДК 677.05

DOI 10.47367/0021-3497\_2024\_5\_174

**ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРОКЛАДЫВАНИЯ УТКА  
НА ТКАЦКОЙ МАШИНЕ**

**THERMAL CALCULATION OF THE WEFT INSERTION SYSTEM  
OF THE WEAVING MACHINE**

*Н.С. НЕФЕДОВ, А.С. ЖУРАВЛЕВ, А.И. МЕЛЬНИКОВ, Е.Н. ХОЗИНА, О.С. ЖУРАВЛЕВА*

*N.S. NEFEDOV, A.S. ZHURAVLEV, A.I. MELNIKOV, E.N. KHOZINA, O.S. ZHURAVLEVA*

**(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))**

**(The Kosygin State University of Russia)**

E-mail: zhuravleva-os@rguk.ru

*В статье проведен тепловой расчет системы «прокладчик утка – направляющий канал» ткацкой машины с малогабаритными прок-ладчиками утка на основе использования первого закона термодинамики и общих термодинамических соотношений. Для различных сочетаний конструк-*

*тивных, технологических и эксплуатационных параметров ткацкой машины проведен расчет и сравнительный анализ степени нагрева прокладчика, перемещающегося на всю заправочную ширину машины. Результаты расчета представлены графически и позволяют оценить влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров машины на величину нагрева прокладчика.*

*The article presents a thermal calculation of the "weft inserter - guide channel" system of a weaving machine with small-sized weft inserters based on the first law of thermodynamics and general thermodynamic relationships. For various combinations of structural, technological and operational parameters of the weaving machine, a calculation and comparative analysis of the degree of heating of the inserter moving through the reed width of the machine was carried out. The calculation results are presented graphically and allow to assess the influence of the design, technological and operational parameters of the machine on the amount of inserter heating.*

**Ключевые слова:** ткацкая машина, малогабаритный прокладчик утка, зуб берда, внутренняя энергия прокладчика, работа прокладчика, износ.

**Keywords:** weaving machine, small-sized weft inserter, reed tooth, inserter internal energy, inserter work, wear.

#### *Введение*

Основным способом повышения производительности ткацких машин с малогабаритными прокладчиками утка определенной заправочной ширины без изменения цикловой диаграммы их работы является увеличение средней скорости полета прокладчика утка в зеве. Прокладчик перемещается в направляющем канале, образованном зубьями батана, поэтому прокладчик и направляющий канал могут рассматриваться как система (рис. 1).



Рис. 1

Траектория движения прокладчика носит непрямолинейный характер, поэтому в процессе прокладывания утка на всю заправочную ширину машины прокладчик контактирует с поверхностью зубьев [1], в результате чего происходит его нагрев.

Нагрев прокладчика может привести к повышенному износу как самого прокладчика, так и зубьев направляющего канала и тормозных пластин механизма торможения прокладчиков, что ухудшает условия работы основных механизмов ткацкой машины и снижает ее фактическую производительность [2...4].

#### *Методы*

Представляет интерес определение степени нагрева прокладчика в процессе его движения внутри направляющего канала. Для этого необходимо составить уравнение состояния термодинамической системы, устанавливающее взаимосвязь параметров состояния системы между собой.

Учитывая условия работы прокладчика, будем считать систему «прокладчик утка – направляющий канал» закрытой, для которой не характерен обмен веществом с окружающей средой, но возможен обмен энергией.

Для количественного описания термодинамических процессов в закрытой системе может быть применен первый закон

термодинамики [5], согласно которому количество теплоты  $\Delta Q_{\Pi}$ , полученное телом или системой, расходуется на изменение внутренней энергии  $\Delta U$  и на работу  $A$  тела или системы против внешних сил:

$$\Delta Q_{\Pi} = \Delta U + A. \quad (1)$$

Внутренняя энергия системы  $U$  является функцией состояния: ее изменение  $\Delta U$  при переходе из начального состояния в конечное зависит только от соответствующих значений  $U_{\text{н}}$  и  $U_{\text{к}}$  в этих двух состояниях, т. е.

$$\Delta U = U_{\text{н}} - U_{\text{к}}. \quad (2)$$

Для системы «прокладчик утка – направляющий канал» под величиной  $U_{\text{н}}$  будем понимать энергию прокладчика в начальном состоянии (начальную энергию), т. е. в момент его вылета из уточно-боевой коробки, а под величиной  $U_{\text{к}}$  – энергию прокладчика в конечном состоянии (конечную энергию) при влете его в приемную коробку.

Для определения начальной энергии прокладчика воспользуемся формулой:

$$U_{\text{н}} = \frac{m_{\text{пр}} v_{\text{н}}^2}{2}, \quad (3)$$

где  $m_{\text{пр}}$  – масса прокладчика утка, кг;  $v_{\text{н}}$  – начальная скорость прокладчика утка, м/с, зависящая от параметров торсионного боевого механизма и определяемая как [6]

$$v_{\text{н}} = l_{\Pi} \sqrt{\frac{G \cdot \pi \cdot d_{\text{ТВ}}^4 \cdot (\phi_{\text{ТВ}}^2 - \phi_{\text{ОСТ}}^2)}{32 \cdot l \cdot J_{\text{ПР}}}}, \quad (4)$$

где  $l_{\Pi}$  – длина погонялки торсионного боевого механизма:  $l_{\Pi} = 0,185$  м;  $G$  – модуль упругости 2-го рода материала торсионного вала:  $G = 78,5 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>;  $d_{\text{ТВ}}$  – диаметр торсионного вала, м;  $\phi_{\text{ТВ}}$  – начальный угол закручивания торсионного вала, рад;  $\phi_{\text{ОСТ}}$  – остаточный угол закручивания торсионного вала к началу торможения погонялки или угол отрыва прокладчика от погонялки:  $\phi_{\text{ОСТ}} = 0,24435$  рад = 14°;  $l$  – длина скручиваемой части торсионного вала:  $l = 0,735$  м;  $J_{\text{ПР}}$  – приведенный к оси торсионного вала момент инерции масс

подвижных звеньев боевого механизма:  $J_{\text{ПР}} = 6,8 \cdot 10^{-3}$  кг · м<sup>2</sup>.

После вылета из уточно-боевой коробки прокладчик, несущий за собой уточную нить, совершает полет в зеве ткацкого станка на всю заправочную ширину машины. Его скорость уменьшается по мере движения, что связано с силами, действующими на прокладчик утка при его полете. В момент влета прокладчика в правую приемную коробку он будет иметь определенный запас остаточной (конечной) энергии, определяемой по формуле [7]:

$$U_{\text{к}} = \frac{m_{\text{пр}} v_{\text{к}}^2}{2}, \quad (5)$$

где  $v_{\text{к}}$  – конечная скорость прокладчика.

Движение прокладчика можно считать равнозамедленным, причем экспериментально установлено [8], что изменение скорости полета прокладчика на 1 метр заправочной ширины (градиент падения скорости  $\Delta v$ ) является функцией линейной плотности  $T$  перерабатываемого утка и времени  $t_{\text{ЭКСП}}$  нахождения машины в эксплуатации. Тогда скорость влета прокладчика в приемную коробку может быть определена по формуле:

$$v_{\text{к}} = v_{\text{н}} - \Delta v S_{\text{запр}}, \quad (6)$$

где  $S_{\text{запр}}$  – заправочная ширина ткацкой машины, м.

Подставляя формулы (3)...(6) в уравнение (2), получим зависимость для определения изменения внутренней энергии системы «прокладчик утка – направляющий канал» при перемещении прокладчика из его начального положения в конечное, т. е. из уточно-боевой коробки в приемную коробку.

Для определения величины работы  $A$  тела или системы против внешних сил, входящей в формулу (1), воспользуемся формулой:

$$A = FS, \quad (7)$$

где  $F$  – суммарная сила, действующая на тело или систему;  $S$  – перемещение тела или системы.

Для системы «прокладчик утка – направляющий канал» под перемещением тела подразумевается полет прокладчика через зев на всю заправочную ширину машины, т. е.  $S = S_{\text{запр}}$ . Под суммарной силой, действующей на тело, будем понимать силу инерции, действующую на прокладчик утка при его движении.

Силу инерции  $F_{\text{и}}$  запишем в виде:

$$F_{\text{и}} = F_{\text{си}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{св}}, \quad (8)$$

где  $F_{\text{си}}$  – среднеинтегральная величина натяжения уточной нити;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения между поверхностью прокладчика и зубьями батана;  $F_{\text{св}}$  – сила сопротивления воздуха.

На рис. 2 представлена схема сил, действующих на прокладчик при его полете через зев. Рассмотрим силы, входящие в (8), подробнее.

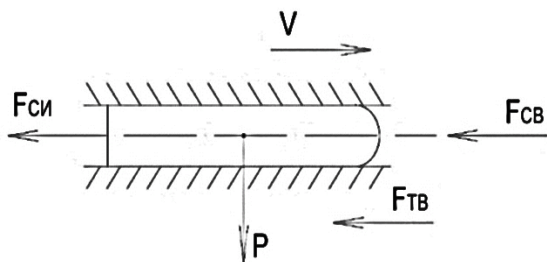


Рис. 2

Среднеинтегральная величина натяжения нити может быть вычислена как:

$$F_{\text{си}} = \frac{F_{\text{н}}S_1 + F_{\text{м}}S_2}{S_1 + S_2}, \quad (9)$$

где  $F_{\text{н}}$  – натяжение уточной нити в период свободного сматывания ее с уточной палочки в зев (тормоз утка находится в верхнем положении, а компенсатор утка – в нижнем);  $F_{\text{м}}$  – натяжение уточной нити в период торможения уточным тормозом и компенсатором в конце прокидки в зеве;  $S_1$  и  $S_2$  – величина перемещения прокладчика под действием силы  $F_{\text{н}}$  и  $F_{\text{м}}$  соответственно.

Согласно экспериментальным данным величины  $S_1$  и  $S_2$  можно приближенно считать по формулам:

$$S_i = \frac{2}{3} S_{\text{запр}}. \quad (10)$$

Сила трения определяется площадью контакта прокладчика и зубьев направляющего канала, а также материалами, из которых они изготовлены:

$$F_{\text{тр}} = m_{\text{пр}} g f_{\text{пр}}, \quad (11)$$

где  $f_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент трения прокладчика о направляющие зубья канала;  $g$  – ускорение свободного падения.

Сила сопротивления воздуха может быть определена согласно следующей формуле:

$$F_{\text{св}} = K B_{\text{пр}} v_{\text{ср}}^2 \rho, \quad (12)$$

где  $K$  – коэффициент сопротивления воздуха (коэффициент обтекаемости);  $B_{\text{пр}}$  – площадь лобовой поверхности прокладчика;  $v_{\text{ср}}$  – средняя скорость прокладчика;  $\rho$  – плотность среды.

Поскольку величина силы сопротивления воздуха слишком мала (<1%) по сравнению со среднеинтегральной величиной натяжения нити и силой трения, то при расчете силы инерции, действующей на прокладчик, ею можно пренебречь.

Если системе с массой  $m$  сообщить количество теплоты  $\Delta Q_{\text{п}}$ , то ее температура повышается от  $T_1$  до  $T_2$  [9, 10]:

$$\Delta Q_{\text{п}} = mC(T_2 - T_1), \quad (13)$$

где  $m$  – масса системы;  $C$  – средняя удельная теплоемкость;  $T_2, T_1$  – температура тела в конце и начале полета соответственно.

Используя общие термодинамические соотношения и формулы (1)...(13), изменение температуры малогабаритного прокладчика утка, пролетающего через зев, можно представить следующим образом:

$$\Delta T = \frac{\frac{m_{\text{пр}}}{2}(v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2) + (F_{\text{тр}} + F_{\text{св}} + F_{\text{си}})S_{\text{запр}}}{m_{\text{пр}}C}. \quad (14)$$

#### Результаты и обсуждения

В табл. 1 приведены исходные данные для расчета степени нагрева прокладчика утка в процессе полета в зеве ткацкой машины.

$m_{пр}$ , кг	$l_{II}$ , м	$G$ , Н/м <sup>2</sup>	$d_{ТВ}$ , м		$\varphi_{ТВ}$ , рад	$\varphi_{ОСТ}$ , рад	$l$ , м	$B_{пр}$ , м <sup>2</sup>
0,04	0,185	78,5·109	15,0; 15,5; 16,0; 16,5; 17,0		0,5585	0,2444	0,735	22,4·10 <sup>-6</sup>
$J_{пр}$ , кг·м <sup>2</sup>	$F_H$ , Н	$F_m$ , Н	$S_{запр}$ , м	$f_{пр}$	$g$ , м/с <sup>2</sup>	К	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C$ , Дж/кг·°К
6,8·10 <sup>-3</sup>	4	6	1,8	0,15	9,81	0,4	1,23	460

Для определения степени нагрева подставим исходные данные (табл. 1) в формулы (2)...(13). На рис. 3 показано изменение степени нагрева прокладчика в зависимости от диаметра торсиона с учетом времени нахождения машины в эксплуатации. Линии 1 и 1' определяют характер изменения степени нагрева прокладчика при эксплуатации машины 1...3 года, линии 2 и 2' – 3...5 лет, линии 3 и 3' – более 5 лет, причем 1, 2, 3 – прокладчик летит без нити; 1', 2', 3' – с нитью № 200.

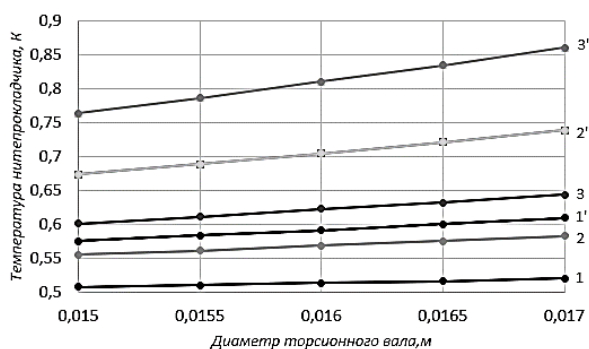


Рис. 3

Анализ результатов исследования степени нагрева прокладчика в зависимости от изменения диаметра торсиона и времени эксплуатации ткацкой машины для станка СТБУ-180 показывает, что рассматриваемая зависимость носит параболический характер. С увеличением времени эксплуатации станка без нити растет и степень нагрева прокладчика: с 1,026 раза для времени эксплуатации от 1 до 3 лет до 1,070 – для времени эксплуатации более 5 лет. При проведении аналогичного исследования при использовании уточной нити № 200 наблюдается практически такая же картина, однако увеличение степени нагрева выше и изменяется от 1,059 раза до 1,127 раза. Таким образом, можно сделать вывод

о том, что при работе с нитью на станке с одинаковым временем эксплуатации степень нагрева растет быстрее, чем при работе вхолостую.

Методика расчета степени нагрева прокладчика, приведенная в данной работе, может быть использована и для ткацких машин других заправочных ширин. В дальнейшем планируется провести ряд натуральных экспериментов, что позволит оценить точность теоретических расчетов.

## ВЫВОДЫ

Полученные результаты могут стать основой для проектирования и расчета усовершенствованной системы прокладывания утка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Худых М.И., Петров С.Г., Немцова Е.А. Взаимодействие микропрокладчика и зуба батана станка СТБ при влете микропрокладчика в направляющую гребенку // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 1992. № 6 (210). С. 92...96.
2. Fedorov S.V. Structural-Energy Interpretation of a Tribosystem // Journal of Friction and Wear. 2021. Vol. 42. P. 117...123. – <https://doi.org/10.3103/S1068366621020033>.
3. Федоров С.В. Тепловые (температурные) принципы совместимого трения // Трение и износ. 2022. № 2 (43). С. 210...220.
4. Popov V.L. Contact Mechanics and Friction: Physical Principles and Applications. Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2017.
5. Мерзляков А.А., Овчар З.Н. Моделирование теплового режима в металлополимерной трибосистеме «торцовое кольцо – цилиндр» // Трение и износ. 1998. № 4 (19). С. 517...522.
6. Петров В.В., Хозина Е.Н., Макаров В.А., Журавлева О.С. Распределение энергии в системе прокладывания утка ткацких машин с малогабаритными прокладчиками в вероятностном аспекте // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2008. № 5 (311). С. 83...89.

7. Ковалева О.С., Хозина Е.Н. Методика определения допустимой скорости влета нитепрокладчика в приемную коробку ткацкой машины типа СТБ // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2005. № 6 (287). С. 84...88.

8. Авдеева Г.Н., Карнова Ю.Б., Макачев А.Н. Исследование факторов, определяющих скоростные параметры и надежность боевого механизма станков СТБ // Сб. научных трудов ВНИИЛТЕКМАШа. М.: Минлегпишемаш, 1984. С. 98...105.

9. Гурский Б.Э., Чичинадзе А.В. Тепловая задача трения // Современная трибология: Итоги и перспективы. М.: Изд-во ЛКИ, 2014. С. 297...319.

10. Starostin N.P., Kondakov A.S., Vasilieva M.A. Identification of Friction Heat Generation in Sliding Bearing by Temperature Data // Inverse Problems in Science and Engineering. 2013. Vol. 21. P. 298...313.

#### REFERENCES

1. Khudykh M.I., Petrov S.G., Nemtseva E.A. Interaction of the microinserter and the reed tooth of the STB loom during the take-off of the microinserter into slay comb guide // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 1992. № 6 (210). P. 92...96.

2. Fedorov S.V. Structural-Energy Interpretation of a Tribosystem // Journal of Friction and Wear. 2021. Vol. 42. P. 117...123. – <https://doi.org/10.3103/S1068366621020033>.

3. Fedorov S.V. Thermal (temperature) principles of compatible friction // Journal of Friction and Wear. 2022. № 2 (43). P. 210...220.

4. Popov V.L. Contact Mechanics and Friction: Physical Principles and Applications. Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2017.

5. Merzlyakov A.A., Ovchar Z.N. Modeling of the thermal regime in a metallopolymer tribosystem «end ring – cylinder» // Journal of Friction and Wear. 1998. № 4 (19). P. 517...522.

6. Petrov V.V., Khozina E.N., Makarov V.A., Zhuravleva O.S. Energy distribution in the weft insertion system of the projectile weaving machines in a probabilistic aspect // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2008. № 5 (311). P. 83...89.

7. Kovaleva O.S., Khozina E.N. Methodology for determining the permissible speed of the inserter during its flight into the right box of a STB type weaving machine // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2005. № 6 (287). P. 84...88.

8. Avdeeva G. N., Karpova Yu. B., Makachev A. N. Investigation of the factors determining the speed parameters and reliability of the torsion picking mechanism of STB looms // Collection of scientific works of VNIILTEKMASH. M.: Minlegpishchemash, 1984. P. 98...105.

9. Gursky B.E., Chichinadze A.V. The thermal problem of friction // Modern tribology: Results and prospects. M.: LKI Publishing House, 2014. P. 297...319.

10. Starostin N.P., Kondakov A.S., Vasilieva M.A. Identification of Friction Heat Generation in Sliding Bearing by Temperature Data // Inverse Problems in Science and Engineering. 2013. Vol. 21. P. 298...313.

Рекомендована кафедрой технологических машин и мехатронных систем РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 08.07.24.