

Анализ процесса движения нити при ее сматывании с паковок швейных и трикотажных машин

В. Г. Буткевич,
Г. И. Москалёв,
Я. С. Иванов

Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет»,
г. Витебск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматривается актуальный вопрос нахождения скорости нитки и колебаний натяжения при сматывании её с паковки в швейном оборудовании, что является важным для последующего расчета технологических параметров выработки изделий. Целью исследований являлось аналитическое и практическое изучение процесса движения участка нитки по сложной траектории с учетом движения нитетпритягивателя. Использовались аналитические методы, применяемые в теории механизмов и машин, а также математического моделирования. Для проведения подтверждения полученных теоретических результатов в производственных условиях выполнены экспериментальные исследования. Приведены результаты аналитического моделирования перемещения и скорости отрезка нитки, определен характер автоколебательного движения нитки. Установлены математические зависимости изменения скорости движения участка нитки от физико-механических свойств ниток, конструктивных параметров оборудования и скоростных режимов. Представленный материал может использоваться в практических расчетах скоростных режимов швейных и трикотажных машин при выработке изделий сложных структур.

Ключевые слова: *нерастяжимая нить, натяжение, скорость, перемещение, автоколебания, математическое моделирование.*

Analysis of the Process of Thread Movement During Its Unwinding from the Packages of Sewing and Knitting Machines

Vyacheslav.G. Butkevich,
Gennady.I. Moskalev,
Yaroslav.S. Ivanov

Educational institution "Vitebsk State Technological University",
Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. The article addresses the topical issue of finding the thread speed and tension fluctuations when winding it from bobbin in sewing equipment, which is important for the subsequent calculation of the technological parameters of product development. The purpose of the research was an analytical and practical study of the process of moving a section of thread along a complex trajectory, taking into account the movement of the thread retractor. Analytical methods used in the theory of mechanisms and machines, as well as mathematical modeling, were applied. Experimental studies have been carried out to confirm the theoretical results obtained in production conditions. The results of analytical modeling of the movement and velocity of the thread segment are presented, and the nature of the self-oscillating movement of the thread is determined. The mathematical dependences of the change in the speed of the thread section on the physical and mechanical properties of the threads, the design parameters of the equipment and speed modes are determined. The findings can be used in practical calculations of the speed regimes in sewing and knitting machines during the design of complex structure products.

Keywords: *inextensible thread, tension, speed, displacement, self-oscillation, mathematical modeling.*

ВВЕДЕНИЕ

В современных моделях высокоскоростных швейных и трикотажных машин актуальной задачей является выравнивание скорости и натяжение колебаний нитей, возникающих в результате циклического движения рабочих органов. Особое внимание требуется уделять при работе с нитями, имеющими латексный сердечник, в которых могут накапливаться значительные упругие и остаточные деформации. Чем выше производительность оборудования, тем больше неравномерность структуры текстильного изделия из-за колебания натяжения нитей при сматывании её с паковки, и, соответственно, образования брака. Нерешенным является вопрос определения влияния конструктивных параметров швейных и трикотажных машин на характер колебания скорости нитей [1–3].

Сматывание нити рассмотрено в работе [4] применительно к трикотажным машинам. В работе [5] изложены элементы процесса затягивания стежка в швейных машинах, относящиеся, в основном, к проведению петли нити внутрь сшиваемых материалов. Меньше всего изучены явления, связанные с движением нити при сматывании её с паковки (катушки). Вместе с тем, изучение характера движения нити на этом участке позволяет не только лучше представить весь процесс работы механизмов и узлов швейной машины, но и также определить влияние физико-механических свойств применяемых нитей на стабильность технологического процесса в целом [6–7].

Определение параметров движения нити при сматывании её с паковки приобретает особенно большое значение при проектировании устройств, контролирующих длину нити. От характера и качественных характеристик движения нити в этот период зависит точность работы формирующих устройств и степень влияния их на работу оборудования в целом.

Целью настоящей работы было исследование движения отрезка нитки, расположенного между бобиной и регулятором натяжения машины.

Задачей исследования являлось определение математических зависимостей колебаний натяжения и скорости нити при циклическом движении механизмов швейной машины, что является актуальным. Использовались методы математического моделирования и положения теории механизмов и машин.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методика проведения исследований изучения колебаний натяжения и соответственно скорости основывается на аналитических методах теории механизмов и машин. Изучение конструкции оборудования позволило получить исходные данные для моделирования процесса сложного движения нити. При исследовании принималось во внимание не только

растяжение нити и наличие переходных процессов трения в регуляторе натяжения, как это было сделано в работе [8], но и трение нитки об ушко нитепритягивателя.

Переходя от реальной механической системы к её физической модели, упрощаем систему и пренебрегаем изгибом нити в регуляторе натяжения, деформацией контура нити, и другими факторами, которые в данной частной задаче представляются несущественными. При дальнейших расчётах принимаем также, что нить является весомой, абсолютно гибкой и при растяжении подчиняется закону Гука [9].

На расчетной схеме (рис. 1) изображена нить от места ее переплетения в стежке (точка А) до места сматывания с бобины (точка D). Всю длину нитки условно делим на отрезки АВ, ВС и CD. Во время движения отрезка CD на него действует сила $T_{BC}(t)$, равная натяжению отрезка ВС, и сила трения в регуляторе натяжения. Усилиям сопротивления разматыванию нитки на бобине пренебрегаем. Для характеристики переходного процесса трения нитки о детали регулятора натяжения принимаем закон Кулона [10], учитывающий разницу между силой трения покоя R_1 и постоянной по величине силой трения движения R_2 . Принимаем, что сила R_1 уменьшается до силы R_2 мгновенно. Такая упрощённая характеристика трения, вероятно, отличается от реального закона, но хорошо согласуется с общепринятыми взглядами на процесс образования челночных стежков и достаточна для анализа главных особенностей исследуемого движения. Теоретические исследования проводим с использованием положений теории механизмов и машин [11].

В момент окончания затягивания стежка точка А нитки останавливается. В этот момент, который принимаем за начало отсчета времени ($t = 0$), перемещение x отрезка CD и его начальная скорость $\dot{x}$ равны нулю, то есть:

$$X(0) = 0, \dot{x}(0) = 0 \quad (1)$$

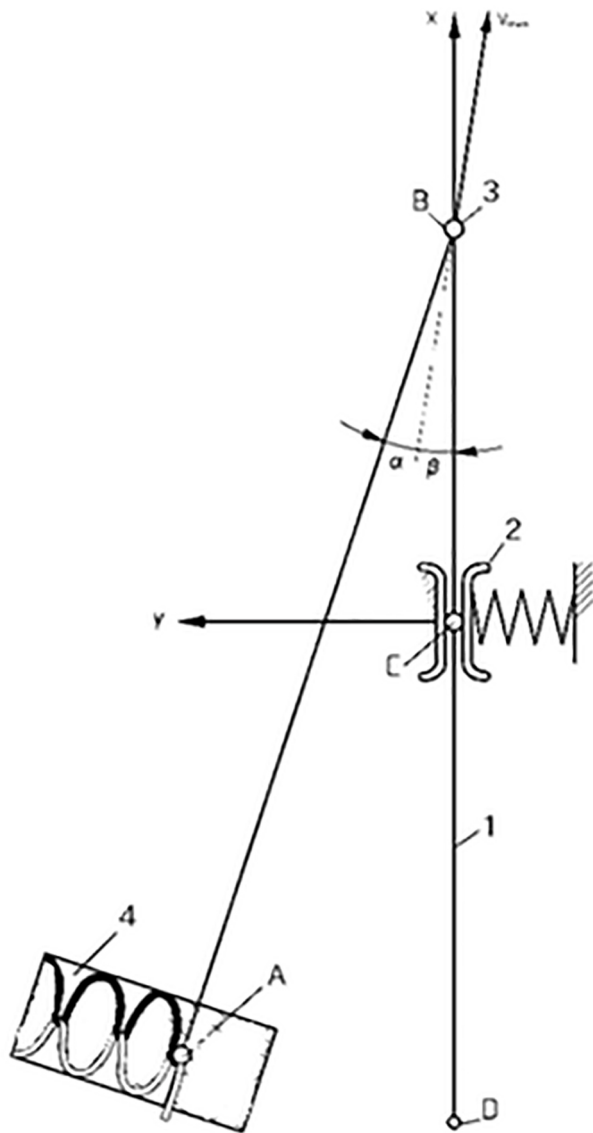
В начальный момент натяжение отрезка ВС равно $T_{BC}(0) = R_1$, а его деформация

$$\Delta l_{BC}(0) = R_1 l_{BC}^0 / EF \quad (2)$$

где l_{BC}^0 – длина отрезка ВС до деформирования; E – модуль упругости нити; F – площадь поперечного сечения нити.

Натяжение $T_{AB}(0)$ отрезка АВ в начальный момент определим, полагая, что нить охватывает ушко нитепритягивателя по дуге окружности.

Тогда $T_{AB}(0)$ определяется натяжением растянутой нити [5]:



1 – нить, 2 – регулятор натяжения, 3 – ушко нитепритягивателя, 4 – зона стежка

1 – thread, 2 – tension regulator, 3 – eyelet of the thread stretcher, 4 – stitch zone

Рисунок 1 – Расчетная схема

Figure 1 – Calculation scheme

$$T_{AB}(0) = T_{BC}(0)e^{-\mu\Theta} \quad (3)$$

где μ – коэффициент трения нитки об ушко нитепритягивателя; Θ – угол охвата ушка нитепритягивателя растянутой нитью, или

$$T_{AB}(0) = R_1 e^{-\mu\Theta} \quad (4)$$

При этом деформация отрезка АВ

$$\Delta l_{AB}(0) = R_1 e^{-\mu\Theta} l_{AB}^0 / EF \quad (5)$$

где l_{AB}^0 – длина отрезка АВ до деформации.

К текущему моменту времени t деформация отрезков АВ и ВС изменится и составит соответственно $\Delta l_{AB}(t)$ и $\Delta l_{BC}(t)$. Выразим полную деформацию контура АВС нитки в текущий момент времени в виде суммы приращений деформаций, образующихся на каждой условной ступени общего процесса нагружения нити:

$$\begin{aligned} \Delta l_{AB}(t) + \Delta l_{BC}(t) &= \\ &= \Delta l_{AB}(0) + \Delta l_{BC}(0) + \Delta l_{ABC}(h) - x, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\Delta l_{ABC}(h)$ – деформация контура нити, вызванная движением ушка нитепритягивателя.

Представим выражение для деформаций через усилия в явном виде:

$$\begin{aligned} \frac{T_{AB}(t)l_{AB}^0}{EF} + \frac{T_{BC}(t)l_{BC}^0}{EF} &= \\ &= \frac{R_1 e^{-\mu\Theta} l_{AB}^0}{EF} + \frac{R_1 l_{BC}^0}{EF} + \Delta l_{ABC}(h) - x \end{aligned} \quad (7)$$

Воспользовавшись формулой Эйлера $T_{AB}(t) = T_{BC}(t)e^{-\mu\Theta}$ и проделав преобразования, получим выражение для натяжения отрезка ВС в текущий момент времени:

$$T_{BC}(t) = R_1 + c\Delta l_{ABC}(h) - cx, \quad (8)$$

$$\text{где } c = \frac{EF}{l_{AB}^0 (e^{-\mu\Theta} + l_{BC}^0)}.$$

Для определения функции $\Delta l_{ABC}(h)$ сделаем некоторые допущения. Учитывая, что длины отрезков АВ и ВС значительно больше величины перемещения ушка нитепритягивателя в период сматывания, будем считать, что эти отрезки располагаются под постоянным углом $\gamma = (\alpha + \beta) / 2$ (рис. 2) к траектории ушка, движение которого в этот период принимаем равномерно замедленным, то есть:

$$h(t) = g_0 t - \frac{at^2}{2}, \quad (9)$$

где g_0 – скорость ушка нитепритягивателя в начальный момент сматывания; a – ускорение ушка в период сматывания.

Тогда, пренебрегая деформацией незначительных

по величине криволинейных участков нити, огибающих ушко, имеем:

$$\Delta l_{ABC}(h) = 2h(t) \cos \gamma = 2\left(\mathcal{G}_0 t - \frac{at^2}{2}\right) \cos \gamma. \quad (10)$$

Подставив полученное выражение в уравнение (2), получим:

$$T_{BC}(t) = R_1 + 2c\left(\mathcal{G}_0 t - \frac{at^2}{2}\right) \cos \gamma - cx. \quad (11)$$

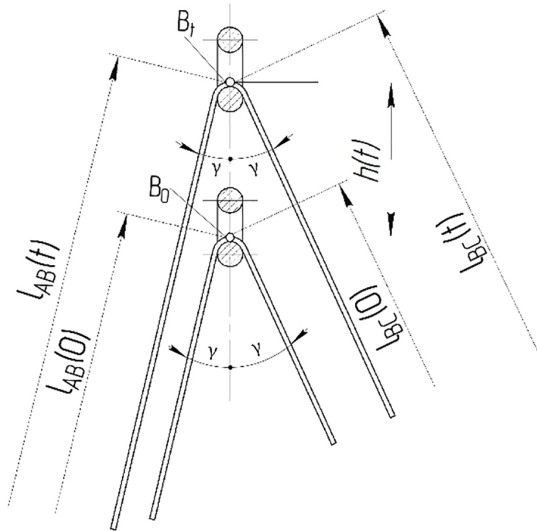


Рисунок 2 – Схема для определения деформации контура нити, вызываемой перемещением ушка нитепритягивателя

Figure 2 – Diagram for determining the deformation of the thread contour caused by the movement of the eyelet of the thread stretcher

С учётом полученных выражений дифференциальное уравнение движения отрезка CD имеет вид

$$m\ddot{x} = R_1 + 2c\left(\mathcal{G}_0 t - \frac{at^2}{2}\right) \cos \gamma - cx - R^2, \quad (12)$$

или

$$\ddot{x} + k^2 x = 2k^2\left(\mathcal{G}_0 t - \frac{at^2}{2}\right) \cos \gamma + \frac{R_1 - R_2}{m}, \quad (13)$$

$$k^2 = c / m,$$

где m – масса отрезка CD.

Решение этого уравнения, отвечающее начальным условиям (1), равно

$$x = 2\mathcal{G}_0 \cos \gamma - (2a \cos \gamma) t - 2\mathcal{G}_0 \cos \gamma \cos kt + Ak \sin kt, \quad (14)$$

$$\text{где } A = \left(\frac{R_1 \pm R_2 + 2a \cos(\gamma)}{m} \right) / k^2$$

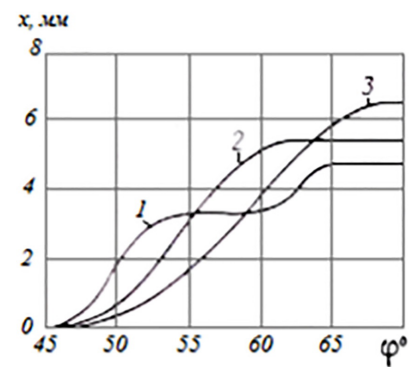
Уравнение решаем при следующих условиях

$$E = 2 \times 10^5 \text{ (H/см}^2\text{)}; F = 4,16 \times 10^{-4} \text{ см}^2; \mu = 0,15;$$

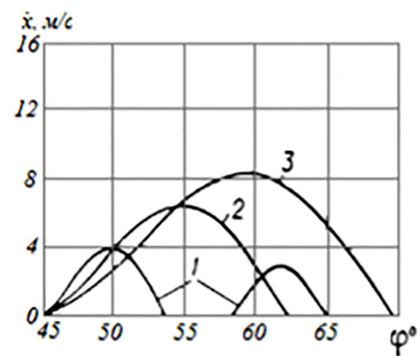
$$\theta = 1,87; l_{AB}^0 = 0,22 \text{ м}; l_{BC}^0 = 0,1 \text{ м}; R_1 = 2,4 \text{ Н};$$

$$R_2 = 2,3 \text{ Н}; a = 7^\circ; \beta = 8^\circ$$

Графики перемещения и скорости отрезка CD для хлопчатобумажной нити № 50/3, длиной 100 см, при различных скоростях швейной машины и расходе, показаны соответственно на рисунке 3.



а (a)



б (b)

1 – 1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин.

φ – угол поворота главного вала машины

1 – 1000 rpm; 2 – 2000 rpm; 3 – 3000 rpm

φ – rotation angle of the machine main shaft

Рисунок 3 – Графики перемещения (а) и скорости (б) отрезка CD нити при различных скоростях главного вала машины, об/мин

Figure 3 – Graphs of movement (a) and speed (b) of the CD thread segment at different speeds of the main shaft of the machine, rpm

Как видно, процесс перемещения отрезка носит разрывной автоколебательный характер. Чем меньше скорость машины и жёсткость нитки, тем более выражен процесс автоколебаний: отрезок движется периодически, с остановками. Расчёты показывают, что длина нитки, сматываемой с бобины в течение одного цикла работы нитепритягивателя, может быть больше необходимой для образования стежка. Поэтому во время работы машины следует ожидать, что величина сматываемой с бобины нитки для каждого цикла образования стежка будет различной.

Для практической проверки полученных результатов на ООО «Сиб» г. Санкт-Петербург прибором для измерения скорости вращения и линейной скорости нитей TESTO-471 на модернизированной швейной машине Textima были замерены скорости сматывания нитки с бобины при частоте главного вала машины, об/мин; 1 – 1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин.

Отмечено:

1. Мгновенная скорость движения нитки согласуется с теоретическими исследованиями.

2. Средняя скорость движения нитки соответствует паспортным данным швейной машины.

3. Присутствуют значительные колебания мгновенной скорости движения нитки при сматывании ее с паковки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены аналитические и практические исследования движения участка нитки при сматывании ее с бобины. Установлено, что скорость движения нити является переменной величиной, что влияет на процесс образования петли. Предложенные теоретические исследования позволяют определить скорость и натяжение нитки в процессе сматывания с бобины, рассчитать критические режимы работы оборудования. Практическая проверка в производственных условиях показала соответствие полученных результатов предложенной методике расчета.

Авторы выражают благодарность руководству ООО «Сиб» за представленную возможность проведения практических опытов, оборудование и материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирусманов, Б. Аналитическое описание пульсации натяжения нити при её прохождении через направляющие глазки и тормозные приспособления [Электронный ресурс] / Б. Мирусманов // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. – 2024. – № 3(120). – С. 59–63. Режим доступа: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17068>. Дата доступа: 10.12.2024. DOI: 10.32743/UniTech.2024.120.3.17068.
2. Чистобородов, Г. И. Исследование влияния формы крючка иглы на эффект перетяжки кулируемой нити / Г. И. Чистобородов, В. В. Капралов, Е. Н. Никифорова // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2012. – №3(339). – С. 144–148.
3. Мирусманов, Б. О значимости крутки как дополнительного источника пульсации натяжения нити при контакте с нитепроводящими поверхностями [Электронный ресурс] / Б. Мирусманов // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. – 2024. – №3(120). – С. 54–58. Режим доступа: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16962>. Дата доступа: 10.12.2024. DOI: 10.32743/UniTech.2024.120.3.16962.
4. Капралов, В. В. Особенности расчета натяжения нити на трикотажных машинах с активной подачей / В. В. Капралов, И. Н. Ситникова, Е. Н. Никифорова // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2009. – № 5(320). – С. 62–64.
5. Холиков, К. М. Анализ швейных машин на швейных и трикотажных фабриках [Электронный ресурс] / К. М. Холиков, Л. С. Уралов, З. Т. Холдарова // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. – 2019. – № 11(68). – С. 64–66. Режим доступа: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/8260>. Дата доступа: 10.12.2024.
6. Егоров, В. В. Исследование процесса сматывания нити со шпули в челноке швейной машины с учетом регулятора натяжения нити / В. В. Егоров, А. В. Марковец, Л. С. Мазин // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2016. – № 1(361). – С. 137–142.
7. Тухтаева, З. Ш. Виды и работа механизма нитепритягивателя различных швейных машин / З. Ш. Тухтаева, З. Р. Асланова, З. З. Ходжаева // *Молодой ученый*. – 2016. – № 9(113). – С. 306–309. <https://moluch.ru/archive/113/28995/>.
8. Марковец, А. В. Динамический анализ механизмов транспортирования материалов швейных машин / А. В. Марковец. – Санкт-Петербург: СПГУТД, 2010. – 235с.

9. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем: современные концепции, парадоксы и ошибки / Я. Г. Пановко, И. И. Губанова. – Москва : Наука, 2020. – 352с.
10. Щербаков, В. П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов / В. П. Щербаков. – Москва : Тисо Принт, 2013. – 304 с.
11. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – Москва : Альянс, 2016. – 640 с.

REFERENCES

1. Mirusmanov B. Analytical description of the pulsation of thread tension as it passes through guide eyes and brake devices. *Universum: tekhnicheskie nauki: elektronnyy nauchnyy zhurnal*. 2024;3(120):59-63. Available from <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17068>. [Accessed 10 December 2024]. DOI: 10.32743/UniTech.2024.120.3.17068. (In Russ.)
2. Chistoborodov GI, Kapralov VV, Nikiforova EN. Study of the influence of the shape of the needle hook on the effect of constriction of the culled thread. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti = Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology*. 2012;3(339):144–148. (In Russ.)
3. Mirusmanov B. On the importance of twist as an additional source of thread tension pulsation upon contact with thread-conducting surfaces. *Universum: tekhnicheskie nauki: elektronnyy nauchnyy zhurnal*. 2024;3(120):54–58 URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16962>. [Accessed 10 December 2024]. DOI: 10.32743/UniTech.2024.120.3.16962. (In Russ.)
4. Kapralov VV, Sitnikova IN, Nikiforova EN. Features of calculating thread tension on knitting machines with active feed. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti = Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology*. 2009;5(320):62-64. (In Russ.)
5. Kholikov KM, Uralov LS, Holdarova ZT. Analysis of sewing machines in clothing and knitting factories. *Universum: tekhnicheskie nauki: elektronnyy nauchnyy zhurnal*. 2019;11(68):64-66. Available from: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/8260>. [Accessed 12 December 2024]. (In Russ.)
6. Egorov VV, Markovets AV, Mazin LS. Study of the process of unwinding thread from a bobbin in the shuttle of a sewing machine, taking into account the thread tension regulator. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti = Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology*. 2016;1(361):137–142. (In Russ.)
7. Tukhtaeva ZSh, Aslanova ZR, Khodzhaeva ZZ. Types and operation of the thread take-up mechanism of various sewing machines. *Molodoy uchenyy*. 2016;9(113):306-309. <https://moluch.ru/archive/113/28995/>. <https://moluch.ru/archive/113/28995/>. (In Russ.)
8. Markovets AV. Dinamicheskiy analiz mekhanizmov transportirovaniya materialov shveynykh mashin = Dynamic analysis of mechanisms for transporting materials of sewing machines. St. Petersburg: SPGUTD; 2010:235. (In Russ.)
9. Panovko YaG, Gubanova II. Ustoychivost' i kolebaniya uprugikh sistem: sovremennyye kontseptsii, paradoksy i oshibki = Stability and vibrations of elastic systems: modern concepts, paradoxes and errors. Moscow: Nauka; 2020:352. (In Russ.)
10. Shcherbakov VP. Prikladnaya i strukturnaya mekhanika voloknistykh materialov = Applied and structural mechanics of fibrous materials. Moscow: Tiso Print; 2013:304. (In Russ.)
11. Artobolevsky II. Teoriya mekhanizmov i mashin = Theory of mechanisms and machines. Moscow: Al'yans; 2016:640. (In Russ.)

Сведения об авторах

Буткевич Вячеслав Гарьевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: butkevich@mail.ru

Information about the authors

Vyacheslav G. Butkevich

Ph. D. in Eng., Assoc. Prof. Associate professor of the department of Mechanical Engineering Technology of the educational institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: butkevich@mail.ru

Москалев Геннадий Иванович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: mosvstunew@rambler.ru

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-9324-7792>

Иванов Ярослав Сергеевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: yaroslavvitebsk@gmail.com

Moskalev G. Ivanovich

Ph. D. in Eng., Assoc. Prof. Associate professor of the department of Mechanical Engineering Technology of the educational institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: mosvstunew@rambler.ru

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-9324-7792>

Yaroslav S. Ivanov

Ivanov, master student of the Department of Mechanical Engineering Technology of the educational Institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: yaroslavvitebsk@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.12.2024.