

# КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАТЕКСНЫХ ОПЛЕТЕННЫХ НИТЕЙ

В.Г. Буткевич\*, Д.Т. Дубаневич\*\*, В.П. Яковлев\*\*, М.С. Ломач\*

\*Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

\*\*Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

Проблема получения новых видов нитей является весьма актуальной. При разработке латексных оплетенных нитей и оборудования для их формирования необходимо аналитически описать основные технологические этапы.

Цель исследования – аналитически описать работу механизма нитераскладчика для получения бобины с латексными оплетенными нитями требуемой формы и размеров.

**Материал и методы.** Материалом являются латексные оплетенные нити различной линейной плотности, а также оборудование для их формирования. В качестве компонента сердечника использовался латексный компонент с растяжимостью не менее 600%. Для обкручивающей составляющей применяются различные виды пряжи: полиэфирные, паллиативные, хлопчатобумажные и др. Для определения скоростей и ускорений звенья механизма были представлены в виде замкнутого векторного контура, который был спроектирован на оси координат. Одно- и двукратное дифференцирование полученных уравнений позволило установить угловые скорости и ускорения звеньев нитераскладчика.

**Результаты и их обсуждение.** Разработан и изучен технологический процесс формирования латексных оплетенных нитей широкого диапазона линейных плотностей. Разработана и внедрена в производство прядельно-крутильная машина, позволяющая производить до 5 тонн латексных оплетенных нитей в месяц. Для формирования бобины требуемой заказчиком формы и размеров (а это важно для использования предполагаемых нитей в качестве сырья при производстве чулочно-носочных изделий, перчаток технического назначения и др.) проведено аналитическое исследование работы нитераскладчика. Для определения нагрузок на основные элементы механизма нитераскладчика был выполнен кинематический расчет для положения, в котором скорости и ускорения звеньев имеют максимальные значения. Расчеты выполнены с использованием элементов курса «Теория машин, механизмов и роботов».

**Заключение.** Результаты исследования применяются для расчета размеров и формы бобины требуемых размеров и формы при изготовлении латексных оплетенных нитей. Полученные аналитические значения перемещений, линейных и угловых скоростей звеньев механизма нитераскладчика показывают, что они могут быть реализованы кинематикой прядельно-крутильной машины и не являются критичными при определении усилий, возникающих во время ее работы.

**Ключевые слова:** нить, схема, расчеты, векторный контур, скорость, ускорение.

## KINEMATIC DEPENDENCIES OF MAKING LATEX WEAVED THREADS

V.G. Butkevich\*, D.T. Dubanevich\*\*, V.P. Yakaulev\*\*, M.S. Lomach\*

\*Educational Establishment «Vitebsk State Technological University»

\*\*Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

The problem of making new types of threads is rather actual nowadays. It's important to describe the main technological steps while producing latex weaved threads and the equipment for their production.

The purpose of the research is to describe the work of the mechanism of the thread handler for getting reels with latex weaved threads of the required form and size.

**Materials and methods.** The object of the research is the latex weaved threads of different linear density and the equipment for their production. The latex component with elongation of not less than 600% was used as a core component. To wrap the component different types of yarn are used: polyester, palliative, cotton and others. To define the velocity and acceleration the elements

of the mechanism were presented as a closed vector contour, which was designed on the reference axis. One-fold and two-fold differentiation of the derived equations allowed to define angular velocity and acceleration of the thread handler's elements.

**Findings and their discussion.** The technological process of producing latex weaved threads of a wide range of linear low-density is developed and researched. The spinning and twisting frame which is able to produce up to 5 tons of latex weaved threads a month is developed and deployed into production. Analytical research of how the thread handler is working has been held to make a reel with the thread of the required form and size, which is essential for using that kind of thread as the raw-material to produce hosiery products and gloves for technical use. To measure the pressure on the main parts of the machine the kinematic calculation is done for the position where the speed and acceleration have the highest value. The calculations are done using the elements of the course «The theory of machines, mechanisms and robots».

**Conclusion.** The results of the research are used to calculate the size and the form of the reel of the required form and size while making latex weaved threads. The obtained values of shifts, linear and angular rates demonstrate that they can be pursued by the kinematics of the spinning and twisting machine and are not critical when defining the efforts which emerge when the equipment is working.

**Key words:** thread, scheme, calculations, vector contour, velocity, acceleration.

**В** настоящее время в текстильной промышленности используется широкий ассортимент нитей и пряж. В качестве сырья применяют различные виды натуральных и химических волокон. Вырабатываются и используются как одиночные нити, так и многокомпонентные. Одним из видов многокомпонентных нитей являются нити, в которых имеется сердечник из высокоэластичной текстильной латексной составляющей.

Латексные оплетенные нити используются в текстильной промышленности для производства чулочно-носочных изделий, изделий технического назначения (строительные перчатки, бахилы и др.). В Республике Беларусь единственным предприятием, производящим для собственного потребления латексные оплетенные нити, было ОАО «КИМ» (г. Витебск). Однако оно в 2015 году было ликвидировано. На сегодняшний день латексные оплетенные нити в Республике Беларусь не производятся и закупается потребляющими их предприятиями за рубежом. Однако данные нити дороги (260–600 руб. за 1 кг). Это связано с тем, что технологический процесс их получения проходит в несколько технологических переходов. Кроме того, работа с чистым латексом (а он закупается в Малайзии, Тайване, Филиппинах) требует соблюдения очень высоких технологических стандартов, которые на имеющемся оборудовании выдержать очень сложно. В результате качество получаемых в конечном итоге изделий не соответствует требованиям потребителя.

Цель исследования – аналитически описать работу механизма нитераскладчика для получения бобины с латексными оплетенными нитями требуемой формы и размеров.

**Материал и методы.** Материалом являются латексные оплетенные нити различной линейной плотности, а также оборудование для их формирования. В качестве компонента сердечника использовался латексный компонент с растяжимостью не менее 600%. Для обкручивающей составляющей применяются различные виды пряж: полиэфирные, паллиативные, хлопчатобумажные и др. Для определения скоростей и ускорений звенья механизма были представлены в виде замкнутого векторного контура, который был спроектирован на оси координат. Одно- и двухкратное дифференцирование полученных уравнений позволило установить угловые скорости и ускорения звеньев нитераскладчика.

Технологическая схема для получения латексных оплетенных нитей [1], изображенная на рис. 1, состоит из следующих узлов: для деления ленты латексных нитей на одиночные стренги, для подачи элементарных стренг в рабочую зону веретен, для формирования многокомпонентной латексной оплетенной нити, для изготовления бобины с нитью.

В качестве машины-прототипа для разработки была использована машина ОРМ-1. Технологическая и конструкторская новизна заключалась в изменении конструкций веретен, тормозных и раскладывающего устройств, узла для формирования бобины с нитью, в установке механизма подачи латексной ленты в рабочую зону веретен.

Узел для деления ленты латексных нитей на одиночные стренги состоит из прутков для предварительного натяжения ленты 1, питающей пары 2, гребенки-делителя 3, оттяжной пары 4. Узел для подачи элементарной стренги в рабочую зону включает направляющие глазки для подвода каждой стренги к линии веретен (на рис. 1 не показаны), направляющий вал 5, питающую пару 6. Узел для формирования латексной оплетенной нити состоит из соосно установленных полых веретен 7 и 8,

подшипниковых узлов 9, направляющих глазков 10, катушек с нитями оплетки 11 и 12. Узел для формирования бобины с нитью включает вытяжную пару 13, направляющий пруток 14, раскладчик 15, мотальный барабан 16.

Машина работает следующим образом. Лента латексных нитей (состоит из 40 элементарных стренг) 17 поступает из коробки 18, распрямляется и получает предварительное натяжение при движении через прутики 1. Питающая пара 2 подает ленту к гребенке 3, где она разделяется на 40 элементарных нитей 19 и выводится оттяжной парой 4, поступает при помощи направляющего вала 5 и питающей пары 6 к полуму веретену 7. Последнее 7 вращается на подшипниках 9. На полых веретенах 7 и 8 установлены катушки с нитями оплетки 11 и 12. Латексная нить 19 проходит через канал веретена 20 и в зоне глазка 10 к ней прикручивается нить оплетки 21. Сформированный продукт проходит через канал 25 полого веретена 8 и в зоне глазка 10 к нему прикручивается нить оплетки 22, где и получается латексная оплетенная нить 23. Эта нить вытяжной парой 13 через пруток 14 и раскладчик 15 поступает на барабан 16, который формирует бобину 24.

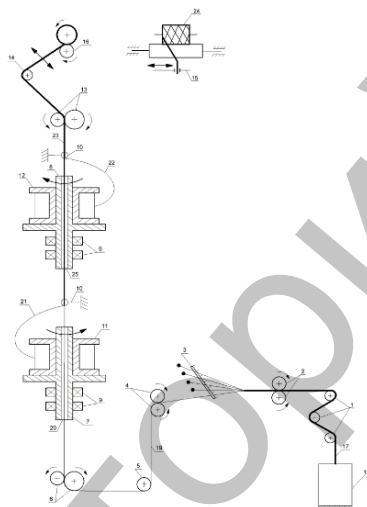


Рис. 1. Машина для получения латексных оплетенных нитей

На рис. 2 представлена схема механизма раскладчика: 1 – бобина с нитью, 2 – мотальный вал, 3 – глазок раскладчика (точка С схемы), 4 – глазок направляющей (точка Е схемы). Механизм раскладчика представляет собой кривошипно-ползунный механизм с присоединительной группой Ассура второго класса пятого вида. Движение точек С и Е с различной амплитудой обеспечивает требуемое перемещение наматываемой высокоэластичной нити на катушку и, как следствие, формирование бобины с нитью требуемой формы.

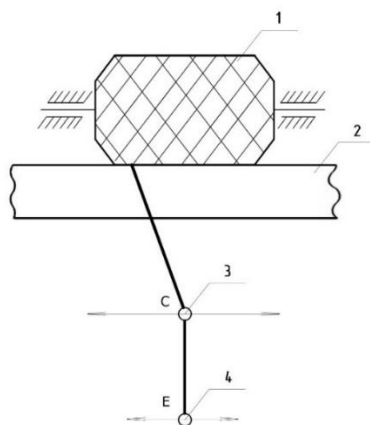


Рис. 2. Схема механизма раскладчика

**Результаты и их обсуждение.** Разработан и изучен технологический процесс формирования латексных оплетенных нитей широкого диапазона линейных плотностей. Разработана и внедрена в производство прядильно-крутильная машина, позволяющая производить до 5 тонн латексных оплетенных нитей в месяц. Для формирования бобины требуемой заказчиком формы и размеров проведено аналитическое исследование работы нитераскладчика. Для определения нагрузок на основные элементы механизма был выполнен кинематический расчет положения, в котором скорости и ускорения звеньев имеют максимальные значения. Расчеты выполнены с использованием элементов курса «Теоретическая механика». Кинематическая схема привода раскладчика представлена на рис. 3. Согласно данной схеме был проведен кинематический расчет, т.е. определены параметры движения основных звеньев механизма раскладки [2].

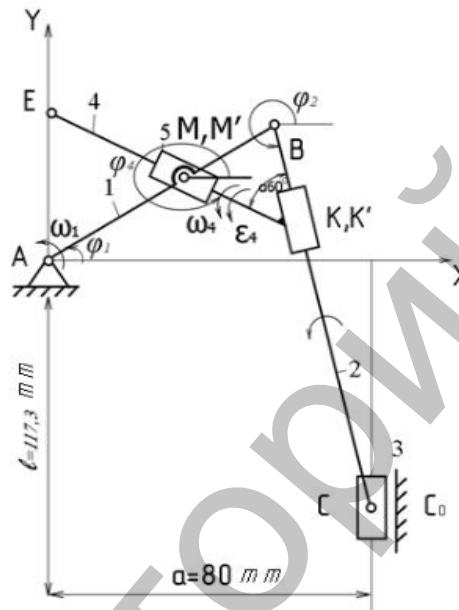


Рис. 3. Кинематическая схема

Для определения нагрузок на основные элементы механизма выполнен расчет для положения, в котором скорости и ускорения имеют максимальное значение.

Проведем кинематический расчет.

Сначала рассмотрим первый контур механизма, состоящий из подвижных звеньев 1, 2, 3.

Исследуем контур основного механизма.

Составим векторное уравнение:

$$\vec{l}_c + \vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{a}.$$

Спроектируем данное уравнение на оси X и Y:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos\varphi_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 = a, \\ -l_c + l_1 \cdot \sin\varphi_1 + l_2 \cdot \sin\varphi_2 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из 1-го уравнения найдем угол  $\varphi_2$ :

$$\cos\varphi_2 = \frac{a - l_1 \cdot \cos\varphi_1}{l_2} = \frac{0.08 - 0.06 \cdot \cos 30^\circ}{0.15} = 0.1869$$

$$\varphi_2 = \arccos 0.1869 = 280.77^\circ.$$

Продифференцируем систему (1) по времени [3]:

$$\begin{cases} -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2 = 0, \\ l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2 = V_{cc}. \end{cases} \quad (2)$$

Из 1-го уравнения найдем угловую скорость  $\omega_2$ :

$$\omega_2 = -\frac{l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1}{l_2 \cdot \sin\varphi_2} = -\frac{0.06 \cdot \sin 30^\circ \cdot 50}{0.15 \cdot \sin 280.77^\circ} = 10.179 \text{ (рад/с)}.$$

Продифференцируем систему (2) по времени:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2^2 + l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 = 0, \\ -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2^2 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 = a^r c c_0. \end{cases} \quad (3)$$

Из 1-го уравнения найдем угловое ускорение  $\varepsilon_2$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= -\frac{l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1^2 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2^2}{l_2 \cdot \sin\varphi_2} = \\ &= -\frac{0.06 \cdot \cos 30^\circ \cdot 50^2 + 0.15 \cdot \cos 280.77^\circ \cdot 10.179^2}{0.15 \cdot \sin 280.77^\circ} = 901.2486 (\text{рад}/c^2). \end{aligned}$$

Из 2-го уравнения найдем релятивное ускорение  $a^r c c_0$ :

$$\begin{aligned} a^r c c_0 &= l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 - l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2^2 = \\ &= 0.15 \cdot \sin 280.77^\circ \cdot 901.2486 - 0.06 \cdot \sin 30^\circ \cdot 50^2 - 0.15 \cdot \sin 280.77^\circ \cdot 10.179^2 = \\ &= -34/469 (\text{м}/c^2). \end{aligned}$$

Переходим к исследованию присоединительной группы Ассур второго класса пятого вида. Рассмотрим контур МВК.

Обозначим:  $\overline{l_{MB}} = \overline{l_1}$ ;  $\overline{l_{BK'}} = \overline{l_2}$ ;  $\overline{l_{M'K}} = \overline{l_4}$ , где  $l_{MB} = 0.03 (\text{м})$ .

Угол  $\varphi_4$  будет равен:

$$\varphi_4 = 180^\circ - 360^\circ + \varphi_2 + \alpha + 180^\circ = \varphi_2 + \alpha = 280.77^\circ + 60^\circ = 340.77^\circ.$$

Запишем векторную сумму:

$$\overline{l_1} + \overline{l_2} = \overline{l_4}.$$

Спроектируем данное уравнение на оси X и Y:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos\varphi_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 = l_4 \cdot \cos\varphi_4, \\ l_1 \cdot \sin\varphi_1 + l_2 \cdot \sin\varphi_2 = l_4 \cdot \sin\varphi_4. \end{cases} \quad (4)$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_2$  найдем длину  $l_4$ :

$$l_4 = \frac{l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} = \frac{0.03 \cdot \sin(30^\circ - 280.77^\circ)}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = 0.0327 (\text{м}).$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_4$  найдем длину  $l_2$ :

$$l_2 = \frac{l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_4)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_4)} = \frac{0.03 \cdot \sin(30^\circ - 340.77^\circ)}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} = 0.0262 (\text{м}).$$

Продифференцируем систему (4) по времени:

$$\begin{cases} -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2 + V_{K'K} \cdot \cos\varphi_4 - V_{M'M} = l_4 \cdot \sin\varphi_4 \cdot \omega_4, \\ l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2 + V_{M'M} \cdot \sin\varphi_4 = l_4 \cdot \cos\varphi_4 \cdot \omega_4. \end{cases} \quad (5)$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_2$  найдем линейную скорость  $V_{M'M}$ :

$$\begin{aligned} V_{M'M} &= \frac{l_1 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \omega_2 - l_4 \cdot \cos(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \omega_4}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} = \\ &= \frac{0.03 \cdot \cos(30^\circ - 280.77^\circ) \cdot 50 + 0.0262 \cdot 10.179 - 0.0327 \cdot \cos(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 10.179}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = \\ &= -0.4546 (\text{м}/c), \end{aligned}$$

где  $\omega_4 = \omega_2 = 10.179 (\text{рад}/c)$ , так как звенья 2 и 4 соединены поступательно.

Из 1-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_4$  найдем линейную скорость  $V_{K'K}$ :

$$\begin{aligned} V_{K'K} &= \frac{V_{M'M} + l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_4) \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \omega_2}{\cos(\varphi_4 - \varphi_2)} = \\ &= \frac{-0.4546 + 0.03 \cdot \sin(30^\circ - 340.77^\circ) \cdot 50 + 0.0262 \cdot \sin(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 10.179}{\cos(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = \\ &= 0.9008 (\text{м}/c). \end{aligned}$$

Продифференцируем систему (5) по времени:

$$\begin{cases} -l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 - 2V_{K'K} \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2 + a^r_{K'K} \cdot \cos\varphi_2 = \\ \quad = a^r_{M'M} \cdot \cos\varphi_4 - 2V_{M'M} \cdot \sin\varphi_4 \cdot \omega_4 - l_4 \cdot \cos\varphi_4 \cdot \omega_4^2 - l_4 \cdot \sin\varphi_4 \cdot \varepsilon_4, \\ -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2^2 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 - 2V_{K'K} \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2 + a^r_{K'K} \cdot \sin\varphi_2 = \\ \quad = a^r_{M'M} \cdot \sin\varphi_4 + 2V_{M'M} \cdot \cos\varphi_4 \cdot \omega_4 + l_4 \cdot \cos\varphi_4 \cdot \varepsilon_4 - l_4 \cdot \sin\varphi_4 \cdot \omega_4. \end{cases} \quad (6)$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_2$  найдем релятивное ускорение  $a_{M'M}^r$ :

$$a_{M'M}^r = \frac{l_2 \cdot \varepsilon_2 + 2V_{K'K} \cdot \omega_2 - l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \omega_1^2 - 2V_{M'M} \cdot \cos(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \omega_4}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} +$$

$$+ \frac{-l_4 \cdot \cos(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \varepsilon_4 + l_4 \cdot \sin(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \omega_4^2}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} =$$

$$= \frac{0.0262 \cdot 901.2486 + 2 \cdot 0.9008 \cdot 10.179 - 0.03 \cdot \sin(30^\circ - 280.77^\circ) \cdot 50^2}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} +$$

$$+ \frac{-2 \cdot (-0.4546) \cdot \cos(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 10.179 - 0.0327 \cdot \cos(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 901.2486}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} +$$

$$+ \frac{0.0327 \cdot \sin(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 10.179^2}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = -41.614(\text{м/с}^2).$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_4$  найдем релятивное ускорение  $a_{K'K}^r$ :

$$a_{K'K}^r = \frac{2V_{M'M} \cdot \omega_4 + l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_4) \cdot \omega_1^2 + l_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \omega_2^2}{\sin(\varphi_2 - \varphi_4)} +$$

$$+ \frac{-l_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \varepsilon_2 - 2V_{K'K} \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \omega_2}{\sin(\varphi_2 - \varphi_4)} =$$

$$= \frac{2 \cdot (-0.4546) \cdot 10.179 + 0.0327 \cdot 901.2486 + 0.03 \cdot \sin(30^\circ - 340.77^\circ) \cdot 50^2}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} +$$

$$+ \frac{0.0262 \cdot \sin(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 10.179^2 - 0.0262 \cdot \cos(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 901.2486^2}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} -$$

$$- \frac{2 \cdot 0.9008 \cdot \cos(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 10.179}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} = -61.994(\text{м/с}^2),$$

где  $\varepsilon_4 = \varepsilon_2 = 901.2486(\text{рад/с}^2)$ .

**Заключение.** По результатам вышеприведенных исследований с применением элементов курса «Теоретическая механика» (раздел «Кинематика») были определены усилия, действующие на исполнительный орган нитераскладчика. Данные результаты используются для расчета размеров и формы бобины требуемых размеров и формы при изготовлении латексных оплетенных нитей. Полученные аналитические значения перемещения, линейных и угловых скоростей звеньев механизма нитераскладчика показывают, что они могут быть реализованы кинематикой прядильно-крутильной машины и не являются критичными при определении усилий, возникающих во время ее работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буткевич, В.Г. Исследование прочности питающего компонента при формировании латексных оплетенных нитей / В.Г. Буткевич, А.С. Лебедкин, Е.А. Федорова // Актуальные проблемы прочности: материалы 60-й Междунар. науч. конф., Витебск, 14–18 мая 2018 г. / УО «ВГТУ», ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси». – Витебск, 2018. – С. 170–172.
2. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин: учебник для вузов / И.И. Артоболевский. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1975. – 639 с.
3. Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике. Таблицы, арифметика, алгебра, геометрия, тригонометрия, функции и графики / М.Я. Выгодский. – СПб.: Союз, 1997. – 336 с.

#### REFERENCES

1. Butkevich, V.H. Researching the strength of the feeding component while making latex weaved threads / V.H. Butkevich, A.S. Lebyodkin, E.A. Fyodorova // 60<sup>th</sup> International science conference «Actual problems of strength»: the materials of the conference, Vitebsk, 14–18 May 2018 / EE «VSTU», SSU «Institute of Technical Acoustics of Belarusian Academy of Science». – Vitebsk, 2018. – P. 170–172.
2. Artobolevsky, I.I. The theory of mechanisms and machines: textbook for higher technical establishments / I.I. Artobolevsky. – 3d edition. – Moscow: Science, 1975. – 639 p.
3. Vygotsky, M.Y. Reference book on elementary mathematics. Tables, arithmetic, algebra, geometry, trigonometry, functions and graphics / M.Y. Vygotsky. – Saint Petersburg: Soyuz, 1997. – 336 p.

Поступила в редакцию 01.04.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: 314ph@mail.ru – Буткевич В.Г.