

УДК 677.022.4

А. Г. Коган, В. Г. Буткевич, Д. Т. Дубаневич, А. С. Куландин

Витебский государственный технологический университет
210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛАТЕКСНЫХ ОПЛЕТЕННЫХ НИТЕЙ**

© А. Г. Коган, В. Г. Буткевич, Д. Т. Дубаневич, А. С. Куландин, 2019

Объектом исследования являются латексные нити, оплетенные комбинированной высокообъемной нитью. Исследованы кинематические и силовые параметры формирования нити, проведено аналитическое описание основных процессов формирования нитей. Рассмотрев траекторию движения нити при её сходе с фланцевой катушки, аналитически установлены зависимости F_t проекции силы, действующей на элемент нити в момент движения от фланца катушки к глазу нитеограничителя для нитей различной линейной плотности, и разрывной нагрузки. Исследован процесс формирования бобины требуемой формы.

Ключевые слова: комбинированная нить, многокомпонентная нить, разрывная нагрузка, сила, уравнение.

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 крученые многокомпонентные. Одним из видов многокомпонентных нитей являются нити, в которых имеется сердечник из высокоэластичной текстильной латексной составляющей.

Цель работы — установление кинематических и силовых параметров при формировании латексных оплетенных нитей различной линейной плотности.

Объектом исследований являлись латексные нити, оплетенные комбинированной высокообъемной нитью. Латексные оплетенные нити используются в текстильной промышленности для производства чулочно-носочных изделий, изделий технического назначения (строительные перчатки, бахилы и др.). Основными преимуществами применения латексных нитей в одежде являются способность к возврату изначальной формы изделия, лучшая облегаемость, отсутствие образования складок. В таблице 1 представлены физико-механические показатели используемой латексной нити.

Таблица 1. Физико-механические показатели латексной нити (чистый латекс)

Table 1. Physico-mechanical properties of latex thread (pure latex)

Показатель	Значение
Линейная плотность, текс	18
Разрывная нагрузка, сН	4,4
Разрывное удлинение, %	800

Для расширения ассортимента чулочно-носочных изделий в качестве обвивочного компонента были использованы высокообъемные комбинированные нити различной линейной плотности, технология получения которых разработана в УО «ВГТУ» [1]. Комбинированные нити состоят из высокоусадочного и низкоусадочного компонентов. В качестве высокоусадочного компонента используется высокоусадочная полиэфирная

нить производства ОАО «СветлогорскХимволокно» [2]. В качестве низкоусадочного (покрывающего) компонента использовалось хлопковое волокно. Полученные комбинированные нити подвергаются влажно-тепловой обработке для достижения эффекта повышенной объемности.

На сегодняшний день латексные оплетенные нити в Республике Беларусь не производятся и закупаются потребляющими их предприятиями за рубежом (Китай, Тайвань, Турция, Россия). Однако данные нити дороги (260–600 рос. руб. за 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. В г. Санкт-Петербурге авторами организовано ОДО «Такката» и разработана машина для производства латексных оплетенных нитей широкого диапазона линейных плотностей. Мощность производства составляет до 6 тонн нитей в месяц. Внешний вид машины для производства латексных нитей представлен на рис. 1.

Технологическая схема машины для получения латексных оплетенных нитей представлена на рис. 2 и состоит из следующих узлов:

- узел деления ленты латексных нитей на одиночные стренги;
- узел подачи элементарных стренг в рабочую зону веретен;
- узел формирования многокомпонентной латексной оплетенной нити и для наматывания бобины с нитью.

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

Машина работает следующим образом. Лента латексных нитей (состоит из 40 элементарных стренг) /7



Рис. 1. Машина для производства латексных оплетенных нитей

Fig. 1. Machine for the production of latex braided threads

поступает из коробки 18, распрямляется и получает предварительное натяжение при движении через прутки 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 полому веретену 7. Полое веретено 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

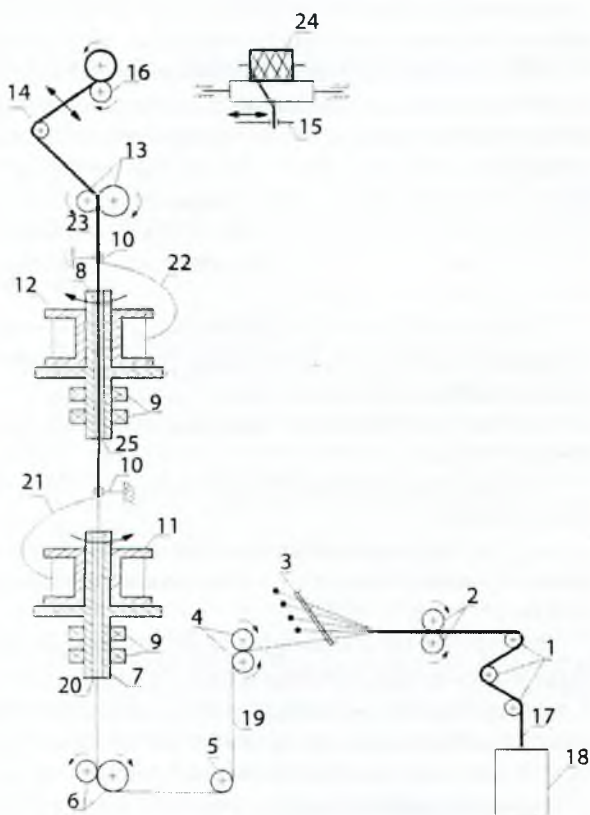


Рис. 2. Машина для получения латексных оплетенных нитей

Fig. 2. Machine for producing latex braided threads

вытяжной парой 13 через пруток 14 и раскладчик 15 поступает на барабан 16, который формирует бобину 24.

В результате выбора компонентов и проведенной наработки нити на машине ОРМ-1 была получена латексная оплетенная нить линейной плотности $T=194$ текс.

Разрывная нагрузка является одной из основных характеристик нити и влияет на стабильность технологического процесса ее формирования. Сравнение разрывной нагрузки латексной нити, полученной экспериментальным путем, с теоретически полученными значениями натяжения позволяет прогнозировать число обрывов нити и оптимизировать технологию получения латексной оплетенной нити в целом [3]. Для исследования кинематических параметров формирования нити необходимо аналитически описать этапы технологического процесса. Одним из проблемных этапов является сход нити с фланцевой катушки и навивание ее на нить сердечника. На рисунке 3 представлена схема схода нити с катушки.

Для описания движения в плоскости XOY можно использовать следующее уравнение [4]:

$$p = \frac{A}{\varphi - \varepsilon\varphi_0}, \quad (1)$$

где p — текущей радиус элемента нити в плоскости XOY ;

φ — угол поворота катушки в момент времени t , при этом $\omega = const$ (вращение равномерно);

φ_0 — угол поворота начальный;

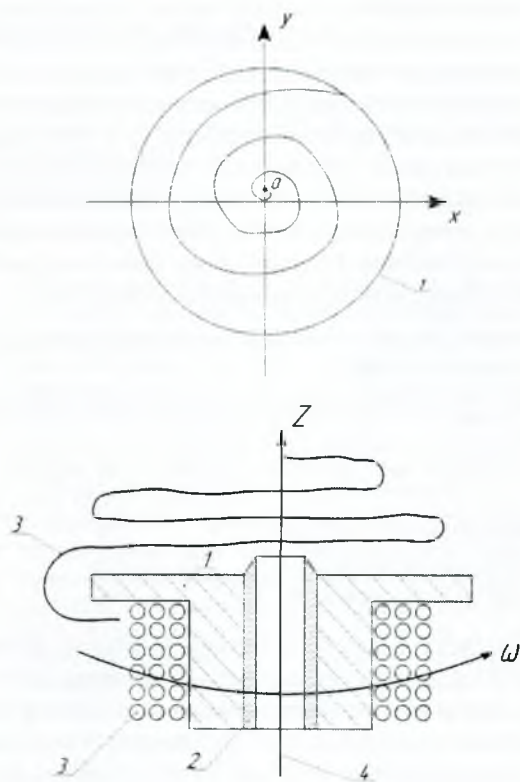


Рис. 3. Схема схода нити с катушки

Fig. 3. The scheme of the descent of the thread from the reel

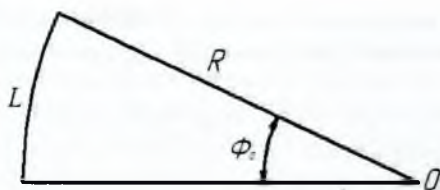


Рис. 4. Начальный момент движения нити

Fig. 4. The initial moment of movement of the thread

A — постоянная, определяется из начальных условий;

ε — эксцентриситет гиперболы, то есть отношение фокусного расстояния к длине действительной оси. В нашем случае $\varepsilon = 1$.

В начале движения $t=0$ текущий радиус p равен радиусу катушки R , т. е. элемент нити касается фланца катушки и начинает движение при повороте на угол φ_0 (рисунок 4).

Из рисунка 4 видно, что:

$$\varphi_0 = \frac{A}{R}. \quad (2)$$

В данном случае $A=L$, т. е. длине элемента нити.

Окончательно с учётом начальных условий получим следующие уравнение:

$$p = \frac{L \cdot R}{R\omega \cdot t - L}. \quad (3)$$

Координаты элемента нити массой dm в плоскости XOY:

$$x = p \cdot \cos \varphi = \frac{L \cdot R}{R\omega \cdot t - L} \cdot \cos \omega \cdot t, \quad (4)$$

$$y = p \cdot \sin \varphi = \frac{L \cdot R}{R\omega \cdot t - L} \cdot \sin \omega \cdot t. \quad (5)$$

Находим проекции вектора скорости на оси координат как производную уравнений 4 и 5.

$$V_x = \frac{L \cdot R^2 \omega}{(R\omega \cdot t - L)^2} \cdot \cos \omega \cdot t - \frac{L \cdot R\omega}{R\omega \cdot t - L} \cdot \sin \omega \cdot t, \quad (6)$$

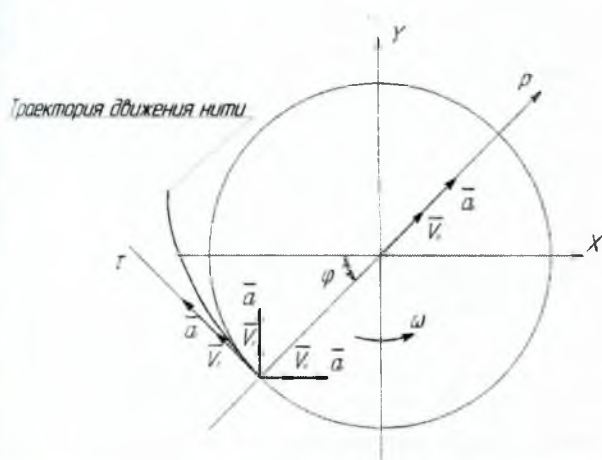


Рис. 5. Кинематические параметры движения нити

Fig. 5. Kinematic parameters of the movement of the thread

$$V_y = \frac{L \cdot R^2 \omega}{(R\omega \cdot t - L)^2} \cdot \sin \omega \cdot t - \frac{L \cdot R\omega}{R\omega \cdot t - L} \cdot \cos \omega \cdot t. \quad (7)$$

Вектор скорости V элемента нити можно разложить на составляющие двумя способами, что видно из рисунка 5:

$$\begin{cases} \vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y + \vec{V}_z, \\ \vec{V} = \vec{V}_p + \vec{V}_\tau + \vec{V}_z, \end{cases} \quad (8)$$

где V_p и V_τ — проекции скорости V на направление радиуса p и касательной τ траектории движения в плоскости XOY;

V_x, V_y, V_z — проекция вектора скорости на ось X, Y, Z соответственно.

Из рисунка 5 видно, что

$$V_x = V_p \cdot \cos \omega \cdot t - V_\tau \cdot \sin \omega \cdot t, \quad (9)$$

$$V_y = V_\tau \cdot \cos \omega \cdot t - V_p \cdot \sin \omega \cdot t. \quad (10)$$

Т. к. скорости V_x и V_y есть разложение одного и того же вектора V , то можно сопоставить коэффициенты при функциях в формулах (6), (7), (9), (10).

$$V_p = \frac{L \cdot R^2 \omega}{(R\omega \cdot t - L)^2}, \quad (11)$$

$$V_\tau = \frac{L \cdot R\omega}{R\omega \cdot t - L}. \quad (12)$$

На ось Z проекция вектора скорости может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} V_z &= \sqrt{V^2 - V_x^2 - V_y^2} = \sqrt{V^2 - V_p^2 - V_\tau^2} = \\ &= \sqrt{V^2 - \left(\frac{L \cdot R^2 \omega}{(R\omega \cdot t - L)^2} \right)^2 - \left(\frac{L \cdot R\omega}{R\omega \cdot t - L} \right)^2} =, \quad (13) \\ &= \sqrt{V^2 - \left(\frac{L \cdot R\omega}{R\omega \cdot t - L} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{R}{R\omega \cdot t - L} \right)^2} \end{aligned}$$

где V — абсолютная скорость элемента нити.

Вектор ускорения элемента нити разложим следующим образом:

$$\alpha = \alpha_x + \alpha_y + \alpha_z, \quad (14)$$

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_\tau + \alpha_z, \quad (15)$$

где $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ — проекции вектора суммарного ускорения на оси X, Y, Z;

α_p, α_τ — проекции вектора суммарного ускорения на радиус и касательную траектории движения.

Тогда:

$$\begin{aligned} \alpha_x &= -\frac{R^2 L \omega^2}{(R\omega \cdot t - L)^2} \sin \omega \cdot t - \frac{R L \omega^2}{R L t - L} \cos \omega \cdot t + \\ &+ 2 \frac{R^3 L \omega^2}{(R\omega \cdot t - L)^3} \cos \omega \cdot t + \frac{R^2 L \omega^2}{(R\omega \cdot t - L)^2} \sin \omega \cdot t, \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_y &= \frac{R^2 L \omega^2}{(R\omega \cdot t - L)^2} \cos \omega \cdot t - \frac{R L \omega^2}{R L t - L} \sin \omega \cdot t + \\ &+ 2 \frac{R^3 L \omega^2}{(R\omega \cdot t - L)^3} \sin \omega \cdot t - \frac{R^2 L \omega^2}{(R\omega \cdot t - L)^2} \cos \omega \cdot t \end{aligned} \quad (17)$$

Из рисунка 6 имеет место соотношение:

$$\alpha_x = -\alpha_r \sin \omega \cdot t + \alpha_p \cos \omega \cdot t, \quad (18)$$

$$\alpha_y = -\alpha_r \cos \omega \cdot t + \alpha_p \sin \omega \cdot t. \quad (19)$$

Сравнивая коэффициенты в уравнениях (16), (17), (18), (19), получим:

$$\alpha_r = \frac{R^2 L \omega^2}{(R \omega \cdot t - L)^2}, \quad (20)$$

$$\alpha_p = \frac{R L \omega^2}{R \omega \cdot t - L} \left(1 - 2 \frac{R^2}{(R \omega \cdot t - L)^2} \right), \quad (21)$$

$$\alpha_z = \frac{R^3 L^2 \omega^3}{(R \omega \cdot t - L)^3} \frac{1 - 2 \frac{R^2}{(R \omega \cdot t - L)^2}}{\sqrt{V^2 - \left(\frac{R \omega L}{(R \omega \cdot t - L)} \right)^2 \left(1 - \frac{R^2}{(R \omega \cdot t - L)^2} \right)}}. \quad (22)$$

По известным параметрам ускорения можно найти проекции силы, действующей на элемент нити массой dm , в момент движения от фланца катушки к глазку нитеограничителя.

$$F_r = dm \frac{R^2 L \omega^2}{(R \omega \cdot t - L)^2} = \frac{p^2}{L} \omega^2 dm = K F_r, \quad (23)$$

где K — коэффициент:

$$K = \frac{L}{\omega^2 dm}. \quad (24)$$

График зависимости F_r от текущего радиуса элемента нити p для латексной оплетенной нити представлен на рисунке 6.

1, 2, 3 — график зависимости от текущего радиуса для нити суммарной линейной плотности 60 текс, 120 текс, 180 текс соответственно; 4, 5, 6 — Разрывная нагрузка нити 60 текс, 120 текс, 180 текс соответственно.

Параметры разрывной нагрузки получены экспериментальным путем. Анализируя рисунок 6, можно отметить следующее:

Для латексной оплетенной нити процесс движения волокнистого компонента с фланца катушки

до глазка нитеотводящего механизма протекает стабильно и усилие F_r не превышает разрывной нагрузки нити.

целесообразно при сходе нити с катушки кинематикой оборудования создать условия для того, чтобы текущий радиус элемента нити p был минимален.

Определим радиальное усилие:

$$\begin{aligned} F_p &= dm \cdot \alpha_p = dm \frac{R L \omega^2}{R \omega \cdot t - L} \left(1 - 2 \frac{R^2}{(R \omega \cdot t - L)^2} \right) = \\ &= p \omega^2 \left(1 - 2 \frac{p^2}{L^2} \right) dm. \end{aligned} \quad (25)$$

График зависимости F_p от текущего радиуса p для нитей различной линейной плотности представлены на рисунке 7.

1, 2, 3 — график зависимости F_p от текущего радиуса для нити суммарной линейной плотности 60 текс, 120 текс, 180 текс соответственно; 4, 5, 6 — разрывная нагрузка нити 60 текс, 120 текс, 180 текс соответственно.

Анализируя графики рисунка 6, следует отметить, что в области $p = 70-90$ мм радиальная сила приближается к разрывной нагрузке, а в некоторых случаях и превышает её. Это происходит за счёт того, что с возрастанием радиуса p резко увеличивается центробежная составляющая. Поэтому целесообразно методами кинематики оборудования создать условия для минимизации текущего радиуса p при сохранении приемлемых значений технологических параметров процесса формирования латексных оплетенных нитей.

В результате предложен новый вид латексных оплетенных нитей с использованием в качестве обвивочного компонента высокообъемных комбинированных нитей. Аналитически определена нагрузка на обвивочный компонент при сходе его с катушки в процессе формирования латексных оплетенных нитей.

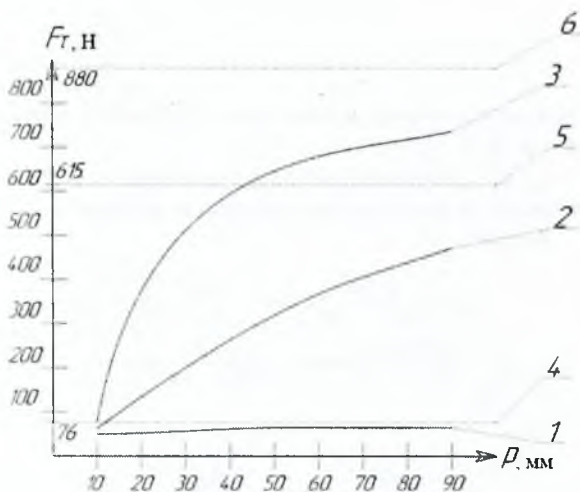


Рис. 6. График зависимости F_r от текущего радиуса p для нитей различной линейной плотности

Fig. 6. F_r versus current radius p for filaments of different linear densities

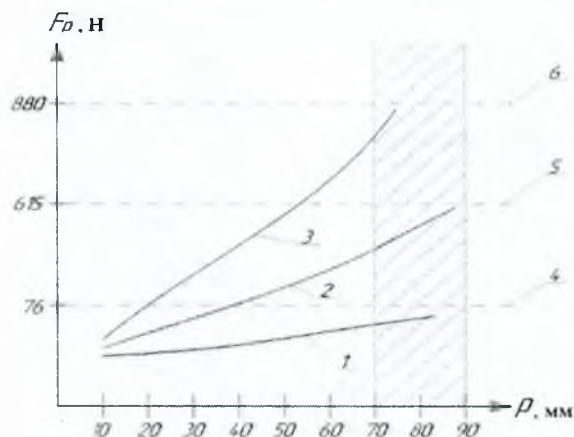


Рис. 7. График зависимости F_p от текущего радиуса p для нитей различной линейной плотности

Fig. 7. Graph of the dependence of F_p on the current radius p for threads of different linear density

Список литературы

1. Куландин А. С., Коган А. Г. Повышение объемности комбинированной хлопкополиэфирной нити в условиях воздействия электромагнитных волн сверхвысокой частоты // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2018. № 2 (35). С. 29–36.
2. Продукция ОАО «СветлогорскхимВолокно». Режим доступа <http://www.sohim.by/produksiya/poliefirnye-niti/niti-glادkie-fdy/> (Дата доступа 11.09.2019).
3. Буткевич В. Г., Лебедкин А. С., Федорова Е. А. Исследование прочности питающего компонента при формировании латексных оплетенных нитей // 60 Международная научная конференция «Актуальные проблемы прочности»: материалы конференции, УО «ВГТУ», ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси». Витебск, 2018. С. 170–172.
3. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике. Таблицы, арифметика, алгебра, геометрия, тригонометрия, функции и графики. СПб., 1997. 336 с.

A. G. Kogan, V. G. Butkevich, D. T. Dubanevitch, A. S. Kulandin

Vitebsk State Technological University
210038, Republic of Belarus, Vitebsk, Moscow Av., 72

Research of kinematic and power parameters when forming latex braided yarn

The object of study are latex braided yarn. The kinematic and power parameters of the formation of the yarn are investigated, an analytical description of the main technological transitions is carried out. Having examined the trajectory of the yarn moving when it leaves the flange coil, the dependences F_x of the projection of the force acting on the yarn element at the moment of movement of the yarn limiter for yarn of different density and breaking load are analytically determined. The process of forming of the required shape is investigated.

Keywords: core-spun yarn, multi-component yarn, breaking load, optimization of the technological process.

References

1. Kulandin, A. S., Kogan, A. G., Improvement of the bulk of core-spun cottonpolyester yarn in conditions of exposure to electromagnetic waves of ultra-high frequency. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. [Vestnik of Vitebsk State Tehnological University]. 2018. No 2 (35). 29–36 pp. (in Rus.)
2. *Produkcija OAO «SvetlogorskKhimvolokno»*. [Production OJSC «SvetlogorskKhimvolokno». Rezhim dostupa <http://www.sohim.by/produksiya/poliefirnye-niti/niti-glادkie-fdy/> (reference date 11.09.2019). (in Rus.)
3. Butkevich V. G., Lebedkin A. S., Fedorova E. A., The study of the strength of the nutrient component in the formation of latex braided threads. *60 Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Aktual'nye problemy prochnosti»*. [60th International Scientific Conference «Actual Problems of Strength»]. Conference proceedings. VGTU, Institut tekhnicheskoy akustiki NAN Belarusi. Vitebsk. 2018. 170–172 pp. (in Rus.)
4. Vygodskij M. Ya. *Spravochnik po elementarnoj matematike. Tablicy, arifmetika, algebra, geometriya, trigonometriya, funkcii i grafiki*. [Handbook of elementary mathematics. Tables, arithmetic, algebra, geometry, trigonometry, functions and graphs]. Sankt-Peterburg. 1997. 336 p. (in Rus.)