

УДК 677.021.128.2-487.522  
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-12-41-47

## ФОРМИРОВАНИЕ СНОВАЛЬНОЙ ПАКОВКИ С ЗАДАННЫМ НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ

*А.К. Джаманкулов, К.А. Герман*

**Аннотация.** Рассматривается связь кинематических и динамических параметров напряженно-деформированного состояния слоя намотки для идеального рулона сновальной паковки. Выведена аналитическая зависимость давления слоя намотки от натяжения нитей и параметра, характеризующего скорость изменения толщины намотки. Намоточные и размоточные системы являются одними из самых сложных в необходимости соблюдения технологических требований для получения оптимальной сновальной паковки. В процессе намотки определение характера расположения нитей по образующей сновального валика в любой момент времени представляется чрезвычайно сложным. Принимая некоторые допущения, рассмотрен вариант расположения нитей на валике, при которых образуется сомкнутая намотка, а именно, когда каждая нить в намотке образует несколько радиальных слоев, но нити каждого слоя располагаются во впадинах предыдущего слоя. Полагаем, что нити основы в намотке не сминаются, имеют круглое сечение и одинаковую толщину.

**Ключевые слова:** идеальный рулон; сновальная паковка; сомкнутая намотка; спираль Архимеда; натяжение нити.

## БЕРИЛГЕН ЧЫҢАЛУУ АБАЛЫ МЕНЕН ЭРИШ ТАҢГАГЫН ТҮЗҮҮ

*А.К. Джаманкулов, К.А. Герман*

**Аннотация.** Идеалдуу түрмөк түрмөк үчүн оролуучу катмардын чыңалуу-деформацияланган абалынын кинематикалык жана динамикалык параметрлеринин байланышы каралат. Жиптердин чыңалуусуна жана оромолдун калыңдыгынын өзгөрүү ылдамдыгын мүнөздөгөн параметрге каршы орогуч катмарынын басымынын аналитикалык көз карандылыгы аныкталды. Ороо жана жандыруу системалары оптималдуу эриш таңгагын алуу үчүн технологиялык талаптарды сактоо үчүн эң татаал системалардын бири болуп саналат. Ороо процессинде жиптердин кайсы убакта болбосун түзүүчү ролик боюнча жайгашуусунун мүнөзүн аныктоо өтө татаал көрүнөт. Айрым божомолдорду эске алганда, жиптердин оролгон ором пайда болгон роликтеги жайгашуу варианты каралат, тактап айтканда, оромдогу ар бир жип бир нече радиалдык катмарларды түзгөндө, бирок ар бир катмардын жиптери мурунку катмардын оюгуна жайгашкан. Биз оромдогу ийрилген жиптер бырышпайт, тегерек кесилишке жана бирдей калыңдыкка ээ деп эсептейбиз.

**Түйүндүү сөздөр:** идеалдуу түрмөк; эриш таңгагы; тыгыз түрүү; Архимед спиралы; жиптин тартылышы.

## FORMATION OF A WARP PACKAGE WITH A GIVEN STRESS STATE

*A.K. Dzhamankulov, K.A. German*

**Abstract.** The article considers the relationship between the kinematic and dynamic parameters of the stress-strain state of the winding layer for an ideal roll of twine. An analytical dependence of the winding layer pressure on the tension of the threads and the parameter characterizing the rate of change in the thickness of the winding is derived. Winding and unwinding systems are among the most complex in terms of meeting technological requirements for obtaining an optimal twine roll. During the winding process, determining the arrangement of the threads along the circumference of the twine roll at any given time is extremely challenging. Taking some assumptions, the option of the arrangement of threads on the roller, in which a closed winding is formed, namely, when each thread in the winding forms several radial

layers, but the threads of each layer are located in the depressions of the previous layer. We assume that the warp threads in the winding are not crumpled, have a round cross-section, and are of the same thickness.

**Keywords:** ideal roll; warp package; closed winding; Archimedes spiral; thread tension.

В работе [1] рассматривается процесс окружной намотки и формирование из армирующих нитей намотки с одинаковыми параметрами напряженно-деформированного состояния. В этой же работе автор использует математическую модель процесса намотки, который заключается в том, что некоторые величины, такие как радиус намотки  $R$  и длина нитей  $L$  определяются путем последовательного интегрирования заданной функции, характеризующей скорость изменения толщины намотки в зависимости от угла поворота  $\varphi$  оправки.

В то время, как в работе [1] рассматривается намотка, используемая при создании малогабаритных изделий, мы применим предложенную математическую модель для процесса намотки сновальных валиков, используемых в подготовительном отделе ткацкого производства, а именно сновальных машин.

В партионной сновальной машине типа СП возможны две модели намотки [2]: первая модель – радиус намотки постоянен, пока валик не повернется на  $360^\circ$ , затем радиус намотки увеличивается скачкообразно на толщину (диаметр) нити (назовем – эксцентричная намотка). Во второй модели – радиус намотки все время меняется по спирали Архимеда (будем считать идеальной намоткой) (рисунок 1).

Рассмотрим идеальную модель намотки, когда тело намотки остается цилиндрическим, и закон изменения его массы представляет собой непрерывную функцию от угла поворота сновального валика  $\varphi$ .

Как известно, в процессе партионной сновки возможно несколько вариантов расположения нитей основы на сновальном валике, при которых образуется намотка [3, 4]. В этих работах представлено 4 варианта формирования сомкнутой намотки. Мы рассмотрим четвертый вариант, когда каждая нить в намотке образует несколько радиальных слоев, но нити каждого слоя располагаются во впадинах предыдущего слоя (рисунок 2).

Запишем зависимость, характеризующую скорость изменения толщины намотки в зависимости от угла поворота сновальной паковки (см. рисунок 1).

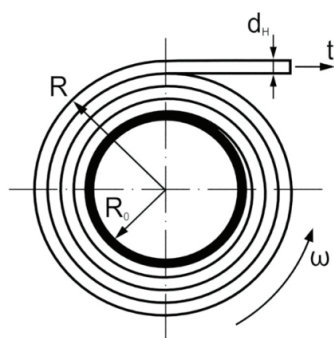


Рисунок 1 – Идеальная модель

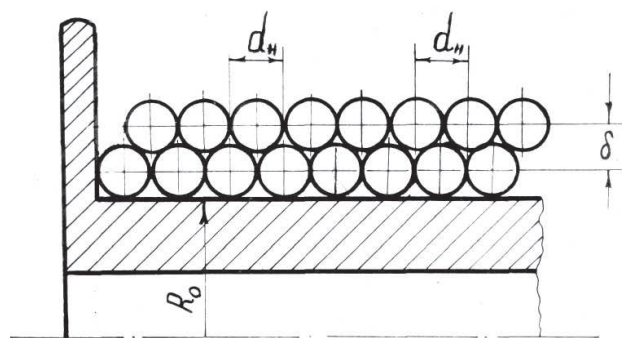


Рисунок 2 – Схема расположения нитей на сновальном валике

$$\omega = \frac{dR}{d\varphi} = f(\varphi), \quad (1)$$

$$R = R_0 = \int_0^\varphi \omega d\varphi, \quad (2)$$

$$L = \int_0^\varphi R(\varphi) d\varphi, \quad (3)$$

$$y = \frac{zTL}{\pi H(R^2 - R_0^2)}, \quad (4)$$

где  $R_0$  – радиус ствола сновального валика;

$z$  – число нитей в паковке;

$T$  – линейная плотность нитей;

$H$  – ширина рассадки фланцев;

$y$  – плотность намотки.

Так как мы рассматриваем случай сомкнутой намотки, когда каждая нить в намотке образует несколько радиальных слоев, но нити каждого слоя располагаются во впадинах предыдущего слоя, то значение  $R$  будет иметь вид [5]

$$R = R_0 + \frac{ZT \cdot \sqrt{3 \cdot C_n^2}}{4\pi H \cdot 10^5} \cdot \varphi, \quad (5)$$

где  $C_n$  – здесь также постоянный коэффициент (для хлопчатобумажной пряжи  $C_n=1,25$ ) [6].

Математическая модель [1] – это условие получения идентичных паковок, которая обеспечивается при строгом выполнении функции (1). Только в этом случае при одном и том же значении угла поворота  $\varphi$  сновального валика будет получаться намотка с одинаковыми параметрами ( $R, L, y$ ). Уравнения (1) и (2) описывают спираль, характеризующую изменение намотки в соответствии с действующими силами в процессе намотки.

В процессе намотки нитей на сновальный валик натяжение нитей оказывает влияние на скорость изменения толщины намотки в момент наматывания. Это натяжение образует центральную силу давления, во многом определяющую вид функции  $f(\varphi)$ . Указанная сила зависит от двух составляющих:

1) нормального давления витка, определяемого трением о направляющие детали, натяжными приборами и действием на намотку уплотняющего устройства;

2) центростремительной силы, возникающей при высокой скорости наматывания материала.

Следует оценить связь между натяжением нити и угловой скоростью  $\omega$ . При наматывании  $Z$  нитей, согласно третьему закону Ньютона, на элемент витка со стороны намотки действует центробежная сила  $dF_6$  (рисунок 3) [7]:

$$dF_6 = ZTdL \frac{v^2}{R_0 + B_\varphi} = ZTd\varphi \frac{v^2}{R_0 + B_\varphi} = ZTv^2 d\varphi, \quad (6)$$

где  $v$  – линейная скорость намотки;  $B = \frac{ZT \cdot \sqrt{3 \cdot C_n^2}}{4\pi H \cdot 10^5}$ .

Вследствие появления центробежной силы ( $dF_6/Z$ ) исходное натяжение нити  $t_0$  увеличивается на некоторую дополнительную величину  $\Delta t$ .

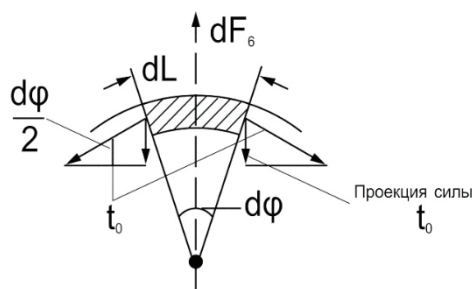


Рисунок 3 – Схема единичного слоя сновальной паковки

$$dN_p = t_0 d\varphi + T(R_0 + Bd\varphi) d\varphi \frac{v^2}{(R_0 + Bd\varphi)} = (t_0 + Tv^2) d\varphi, Tv^2 = \Delta t \quad (7)$$

где  $dN_p$  – сила реакции бесконечно малого участка витка нити;

$t_0 d\varphi$  – проекция силы натяжения на радиальное направление.

Следует учесть, что образуемый виток намотки является частью спирали, а не замкнутого кольца. Последующие слои нитей, заполняя межвитковые промежутки, за счет возникающего давления и межслойного трения консервируют дополнительное натяжение нити  $\Delta t$ , вызванное центробежной силой. При остановке сновального валика приращение натяжения  $\Delta t$  не исчезает, и в этом случае центростремительную силу можно рассматривать как независимую в пределах формирования поверхностного слоя намотки, равного по толщине диаметру  $d_H$  наматываемой нити. Каждый бесконечно малый участок подаваемой нити при движении по окружности сообщает ей, согласно (6), приращение натяжения на величину  $2\omega T$ . Величина этого приращения неизменна при любом значении угла  $\alpha$ , где  $0 \leq \alpha \leq \Delta\varphi$  – угол поворота, на который поворачивается сновальный валик при формировании поверхностного слоя намотки толщиной  $d_H$ . Следовательно, в соответствии с теоремой о среднем значении определенного интеграла справедливо

$$t = t_0 + \int_0^a Tv^2 da, \quad (8)$$

$$dN_p^* = (t - Tv^2) d\varphi, \quad (9)$$

где  $t$  – натяжение участка слоя намотки, образуемого одной нитью  $dN_p^*$  – сила реакции сновальной паковки на воздействие участка слоя намотки.

Если задан закон изменения угловой скорости  $\omega$ , в соответствии с которым происходит формирование намотки, то наматывание поверхностного слоя толщиной  $d_H$  можно описать спиралью Архимеда [8]. Это обусловлено тем, что при заполнении нитями межвитковых промежутков частота вращения сновального валика и скорость изменения толщины намотки являются, по сути, постоянными величинами, и определяемая по модели (1), (2) толщина  $(2\pi\omega)$  слоя, образуемого за один оборот, намного меньше диаметра нити  $d_H$ . Однако на самом деле при каждом обороте сновального валика в межвитковые промежутки укладываются реальные нити диаметром  $d_H$ .

С учетом данного допущения угол поворота  $\Delta\varphi$  можно определить с помощью следующих соотношений:

$$dk = \frac{dR}{d_H}; dk = \frac{\omega d\varphi}{d_H}; \int_0^1 dk = \int_{\varphi}^{\varphi+\Delta\varphi} \frac{\omega}{d_H}; \Delta\varphi = \frac{d_H}{\omega}, \quad (10)$$

где  $k$  – количество слоев намотки с толщиной, равной диаметру нитей  $d_H$ .

При завершении формирования поверхностного слоя натяжение одной составляющей его нити

$$t = t_0 + Tv^2 \Delta\varphi = t_0 + Tv^2 \frac{d_H}{\omega}. \quad (11)$$

При высокоскоростном наматывании, когда исходное натяжение нити  $t_0$ , необходимое для устранения провисов, намного меньше натяжения при намотке ( $t_0 \ll t$ ), величиной  $t_0$  можно пренебречь:

$$t \approx Tv^2 \frac{d_H}{\omega}. \quad (12)$$

Согласно выражению (11), натяжение слоя из  $Z$  наматываемых нитей

$$\tau = Z(t_0 + Tv^2 \frac{d_H}{\omega}). \quad (13)$$

Натяжением этого слоя определяется давление, которое оказывает слой, равный по толщине диаметру нити  $d_H$ , на нижележащую поверхность [9]. Для поверхностного слоя с толщиной  $d_H$  можно однозначно определить площадь поверхности, на которую он воздействует. Очевидно, эта площадь равна  $2R\pi H$ . Центральную силу, т. е. проекцию силы натяжения слоя на радиус-вектор, направленный к центру вращения сновального валика, для поверхностного слоя намотки можно оценить следующим образом [10]:

$$\Omega = \int_{\varphi-2\pi}^{\varphi} \tau d\varphi = 2\pi\tau. \quad (14)$$

Составляющая давления на поверхность намотки будет равна

$$p = \frac{2\pi\tau}{2\pi(R_0 + B)H} = \frac{Zt}{(R_0 + B)H}. \quad (15)$$

Тогда с учетом соотношений (10) можно определить удельное нормальное давление на поверхность намотки, ограниченную углом  $\varphi_1$

$$P = \frac{Z}{Hd_H} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{t\omega}{R} d\varphi = \frac{Z}{Hd_H} \int_{R_1}^{R_2} \frac{tdR}{R}, \quad (16)$$

где  $\varphi_1 \leq \varphi_2 \leq \varphi_k$  и  $0 \leq \varphi_1 \leq \varphi_2$   $\varphi_k$  – угол поворота сновального валика, фиксируемый в момент завершения процесса формирования намотки;  $R_0 \leq R_1 \leq R_2$  и  $R_1 \leq R_2 \leq R_k$ ,  $R_k$  – конечный радиус намотки.

В общем случае для расчета давления, согласно выражению (16), необходимо определить средние значения параметров  $\omega$  и  $t$  ( $\omega_{cp}$  и  $t_{cp}$ ). Среднее значение параметра вычисляется по формуле [1]

$$\omega_{cp} = \frac{b}{2y}, \quad (17)$$

где  $b = (ZT) / (\pi H)$ .

Тогда

$$P = \frac{Zt_{cp}}{Hd_H} \ln\left(\frac{\omega_{cp}\varphi_2 + R_0}{\omega_{cp}\varphi_1 + R_0}\right), \quad (18)$$

где  $\omega_{cp}\varphi_2 + R_0 = R_2$ ,  $\omega_{cp}\varphi_1 + R_0 = R_1$ , а  $t_{cp}$  определяется экспериментально.

График зависимости (18), в предположении, что  $R_1 = R_0$ , представлен на рисунке 4 при следующих исходных данных:  $Z = 440$ ;  $T = 25$  текс (хлопчатобумажная нить);  $H = 1,8$  м;  $R_0 = 0,145$  м;  $R = 0,53$  м;  $t_{cp} = 0,3$  Н;  $d_H = 1,6$  мм;  $\gamma = 5000$  Н/м<sup>3</sup>;  $C_n \approx 1,25$  (для хлопчатобумажной пряжи).

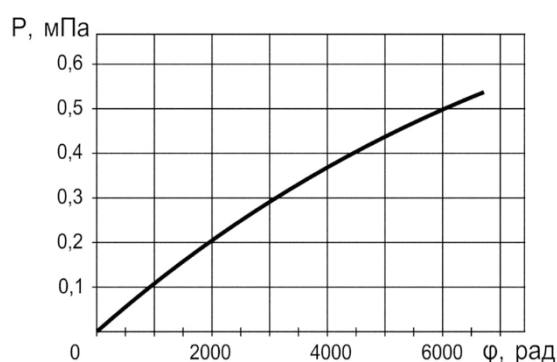


Рисунок 4 – График зависимости центрального давления от угла  $\varphi$  валика

**Выводы.** Как видно из графика, функция имеет характер нелинейности, что, впрочем, закономерно для намоточных и размоточных систем, когда требуется соблюдать важнейшее технологическое условие – постоянство натяжения нитей в процессе намотки.

Предложенная математическая модель имеет перспективное применение и очень хорошо согласуется с исследованиями в области намотки и разматки сновальных валиков, где в настоящее время для соблюдения первоочередных технологических требований, таких как постоянство натяжения нитей, оптимальная плотность намотки (напряженно-деформированное состояние паковки) широко используются авторегуляторы тормозных систем. Как показали результаты применения таких систем, закон приложения тормозного момента к стволу сновального валика в процессе намотки также имеет нелинейную характеристику.

Инновационное предприятие Zhuiji DengTe Textile Machinery CO., Ltd., специализирующееся в производстве оборудования для preparatory отдела ткацкого производства, отмечает проблему формирования сновальной паковки с необходимым напряженно-деформированным состоянием, в то время как использование представленной выше математической модели позволяет значительно снизить сопутствующие негативные явления, такие как неравномерность натяжения нитей в процессе намотки; обрывность нитей; неравномерное распределение плотности сновальной паковки в радиальном и осевом направлениях.

Поступила: 17.09.2025; рецензирована: 01.10.2025; принята: 03.10.2025.

#### Литература

1. Кутьин А.Ю. Проектирование текстильных паковок рулонного типа и методы их воспроизводства / А.Ю. Кутьин. Иваново: ИГТА, 2006. 224 с.

2. *Джаманкулов К.Д.* Стабилизация процесса наматывания и сматывания пряжи в сновальных и шлихтовальных машинах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.03 / К.Д. Джаманкулов. Кострома: КТИ, 1990. 442 с.
3. *Щукин П.М.* Основные направления в конструировании шлихтовальных машин / П.М. Щукин. М.: Машгиз, 1962. 142 с.
4. *Мильман А.Я.* Регуляторы натяжения нитей основы на стойках шлихтовальных машин (обзор) / А.Я. Мильман, З.А. Андрианова. М.: ЦНИИТ Элегпищемаш, 1968. 55 с.
5. *Зайцев В.П.* Исследование структуры намотки и процесса формирования партионных сновальных паковок: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.03 / В.П. Зайцев. Л.: ЛИТЛП им. С.М. Кирова, 1970. 190 с.
6. *Маховер В.Л.* Натяжение нитей основы на стойках шлихтовальных машин / В.Л. Маховер. Ярославль: Ивановский текстильный институт им. М.В. Фрунзе, 1977. 158 с.
7. *Кутьин А.Ю.* Формирование поверхностного слоя тела намотки из несомкнутых нитей / А.Ю. Кутьин, Ю.К. Кутьин, Н.А. Соколов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2013. № 1 (32). С. 76–80.
8. *Кутьин А.Ю.* О моделировании процесса формирования цилиндрических паковок рулонного типа / А.Ю. Кутьин, Ю.К. Кутьин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2001. № 2. С. 113–117.
9. *Кутьин А.Ю.* Об особенностях проектирования систем управления для современного сновального и шлихтовального оборудования / А.Ю. Кутьин, Ю.К. Кутьин, К.А. Шишков // В мире оборудования. 2010. № 2. С. 10–12.
10. *Гордеев В.А.* К расчету давлений намотки текстильных материалов / В.А. Гордеев // Тр. Ленинград. текстильного ин-та им. С.М. Кирова, 1957. Вып. 9. С. 181–190.