УДК 677.053.312.001 (575.2) (04)

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛ НАМОТКИ СНОВАЛЬНОЙ ПАКОВКИ МАШИНЫ СП-180

К.Д.Джаманкулов – докт. техн. наук, профессор,

Л.С. Карташова – ст. преподаватель,

Е.П. Зыкова – ассистент

The results of researches of the intense-deformed condition of bodies of winding machines of the joint venture-180 are resulted.

Известно, что определяющим фактором механической напряженности в сновальных паковках является натяжение нитей в процессе намотки. Вопросам напряженного состояния текстильной паковки, а также расчетам давления на ее основание был посвящен ряд работ [1–7 и др.].

В работе В.А. Гордеева[1] предложены формулы для определения давления на бесфланцевый патрон, но практическое использование полученных формул затруднительно ввиду сложности вычисления коэффициентов, характеризующих уменьшение напряжения (усилия) в нити. К тому же расчеты, приведенные в этой работе, не согласуются с экспериментами, изложенными в работе В.А. Степанова [2].

К.Д. Джаманкуловым в своих исследованиях [4] изложены методы изучения внутренних усилий, напряжений и плотности в телах намотки. Обобщающей характеристикой напряженного состояния паковки, как отмечает автор, является плотность намотки текстильного материала, связующая в единый комплекс параметры напряженного состояния паковки.

Анализируя исследования В.А. Гордеева, С.А. Александрова и др. [1, 3] В.А. Сухарев и др. [7] выделяют три математические модели: 1) математическая модель Гордеева – Кленова; 2) математическая модель, основывающаяся на представлении тела намотки как толстостенной анизотропной трубы; 3) математическая модель, созданная М.Г. Парнесом при рассмотрении намотки провода на круглый каркас.

В работе В.А. Линник [6] рассмотрены вопросы зависимости давления на основание сновальной паковки от силы натяжения при сновке.

И.И. Вайнер [5] отмечает различные факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние тел намотки, в частности, влияние прижимного валика, терможидкостной обработки и т.д. Автор также уделяет внимание исследованию напряжений в телах намотки с учетом реологических особенностей.

Из изложенного выше видно, что при решении отдельных теоретических вопросов в ряде случаев некоторые условия были упрощены. Вполне естественно, что эти упрощения в определенных случаях правомерны и уместны, но в других случаях дают значительное искажение результатов. Чтобы ответить на имеющиеся вопросы, необходимы дальнейшие исследования. Предполагается, что намотку сновальной паковки можно рассматривать как сплошное однородное анизотропное тело, подчиняющееся законам Гука. В данном случае в теле намотки сновальной паковки возникает плоское деформированное состояние, т.к. не происходит смещения в осевом направлении (рис. 1) и имеются жесткие фланцы.

Введем полярную систему координат (рис. 2). выделяем из тела намотки бесконечно малый элемент abcd толщиной, равной единице. Для этого проводится радиус oab под произвольным углом θ к оси r, затем углу дается бесконечно малое приращение dθ и проводится радиус ocd (рис. 2). Произвольным радиусом oa= r проводим вторую дугу bc. Стороны полученного бесконечно малого элемента abcd будут иметь следующие размеры: ab=cd=dr, ad=rdθ, bc=(r+dr)dθ. На границах указанного элемента действуют следующие составляющие напряжений: σr – радиальное нормальное напряжение; σθ– окружное нормальное напряжение; τrθ=τθr – касательные напряжения. Перемещение вдоль оси r обозначим W, вдоль оси θ – V.

Решение будем основывать на общих уравнениях плоской задачи теории упругости в полярных координатах.

Дифференциальные уравнения равновесия:

$$\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial\sigma_\theta}{\partial\theta}+\frac{\partial\tau_{\theta r}}{\partial r}+\frac{2\tau_{\theta r}}{r}+\theta_1=0\,, \qquad (1)$$

$$\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial t_{rq}}{\partial q}+\frac{\partial s_r}{\partial r}+\frac{s_r-s_q}{r}+R_1=0\,. \qquad (2)$$

Уравнение сплошности:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2}{\partial\theta}\right)\left(\sigma_r+\sigma_\theta\right)=0\cdot \qquad (3)$$

Формулы Коши:

$$e_q=\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial V}{\partial q}+\frac{W}{r}\,, \qquad (4)$$

$$\varepsilon_r=\frac{\partial W}{\partial r}\,, \qquad (5)$$

$$g_{qr}=\frac{\partial V}{\partial r}-\frac{V}{r}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial W}{\partial q}\,, \qquad (6)$$

где εr, εθ – относительные деформации в направлении осей r и θ соответственн;о γor– относительная угловая деформация.

Формулы закона Гука:

$$\varepsilon_\theta=\frac{1}{E}(\sigma_\theta-\nu\sigma_r)\,, \qquad (7)$$

$$e_r=\frac{1}{E}(s_r-ns_q)\,, \qquad (8)$$

$$\gamma_{\theta r}=\frac{2(1-\nu)}{E}\cdot\tau_{\theta r}\,, \qquad (9)$$

где E – модуль упругости изотропного материала; γ – коэффициент Пуассона.

Угловая скорость сновальной паковки $\omega\neq const$, поэтому в теле намотки возникают объемные силы θ1 и R1, являющиеся результатом тангенциального и нормального ускорений

$$q_1=r\;e\;r\,, \qquad (10)$$

$$R_1=\rho\;\omega^2\;r\,, \qquad (11)$$

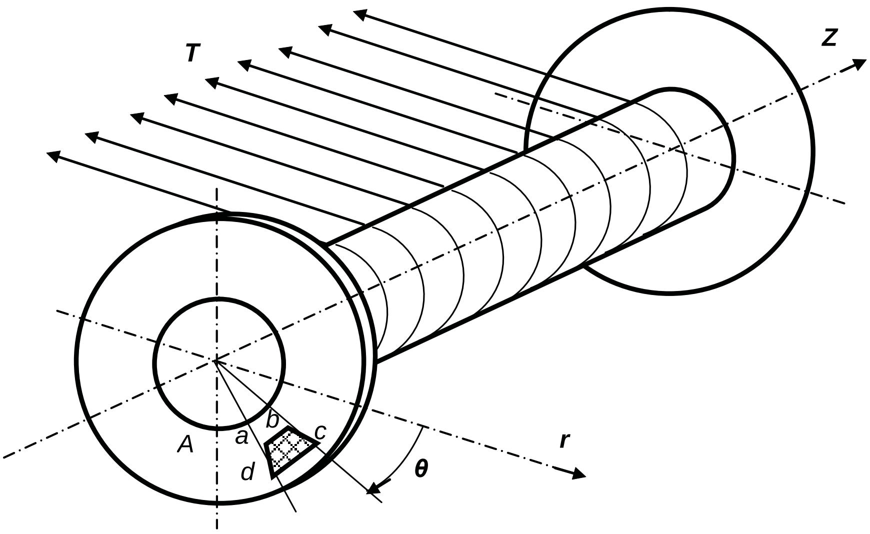

Рис. 1. Схема намотки сновальной паковки.

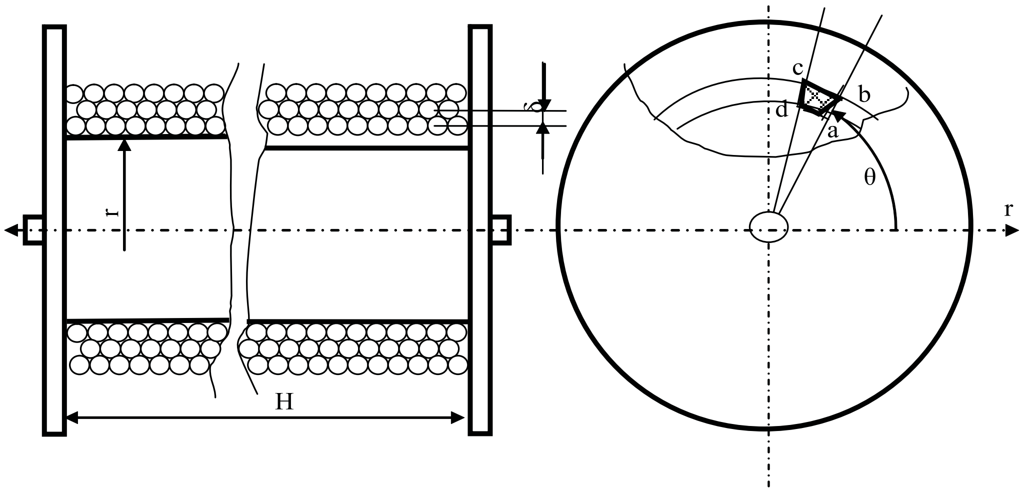

Рис. 2. Бесконечно малый элемент в полярной системе координат.

где ρ – плотность тела намотки; r – расстояние от точки до оси вращения; ω, ε – соответственно угловая скорость и угловое ускорение сновальной паковки.

Для простоты предположим, что нити имеют круглое сечение, при наматывании каждая нить образует только один радиальный слой (рис. 3).

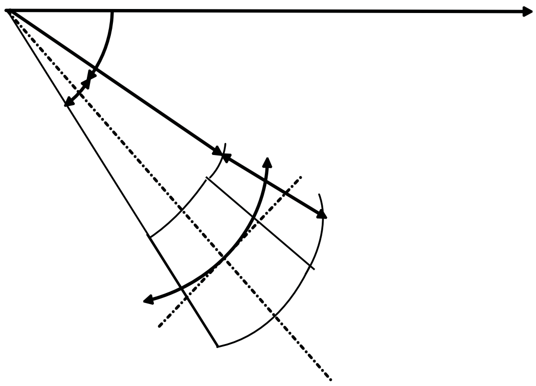

Рис. 3. Схема нити при наматывании в один слой.

При этом для определения ω, ε необходимо знать время намотки tн сновальной паковки.

Для этого воспользуемся результатами работ [8, 9]:

$$t_н = \frac{\text{p g}\, H \cdot 10^5}{Z_н\ T\ v}(r_н^2 - r_0^2), \qquad (12)$$

$$r_н = \sqrt{r_0^2 + t_н \cdot \frac{Z_н\ T\ V}{\pi\, \gamma\, H \cdot 10^5}}, \qquad (13)$$

$$\text{w} = \frac{V}{\sqrt{r_0^2 + t_н \cdot \frac{Z_н\ T\ V}{\text{p g}\, H \cdot 10^5}}}, \qquad (14)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta_2 V}{\left(r_0^2 + t_н \cdot \frac{Z_н\ T\ V}{\pi\, \gamma\, H \cdot 10^5}\right)^{3/2}}, \qquad (15)$$

где $\delta_2 = \frac{Z_н\ T\ Cn^2}{\pi\ H \cdot 10^5}$; Т – толщина нитей, текс; Сп – постоянный коэффициент для хлопчатобумажной пряжи Сп=1,25 [8]; V – скорость сновки; Zн – число нитей.

С учетом (14), (15) выражения (10) и (11) примут вид:

$$\theta_1 = \rho \cdot \frac{\delta^2\ V\ r_н}{\left(r_0^2 + t_н \cdot \frac{Z_п\ T\ Cn^2\ V}{\pi\, H \cdot 10^5}\right)^{3/2}}, \qquad (16)$$

$$R_1 = \rho \cdot \frac{V\ r_н}{\sqrt{r_н^2 + t_н \cdot \frac{Z_п\ T\ Cn^2\ V}{\pi\ H \cdot 10^5}}}. \qquad (17)$$

Плотность предполагается постоянной, ρ=const.

При формировании сновальной паковки на нить действует сила натяжения Тн, что вызывает в сечениях нити определенное натяжение:

$$\sigma_0^* = \frac{T_н}{A},$$

где $A = \dfrac{\pi d^2}{4}$ – площадь поперечного сечения нити диаметром d.

В теле намотки это приводит к изменению окружного нормального напряжения на величину

$$\sigma_0 = \kappa \frac{4T_H}{\pi d^2}, \tag{18}$$

где κ – коэффициент заполнения паковки нитью в радиальном сечении в слоях (κ=0,6…0,8) [4].

Допускаем, что напряжение нити равномерное, т.е. σ_0=const. (19)

В работе [1] показано, что при малых углах намотки σ_0 фактически совпадает с намоточным напряжением.

Из-за анизотропии механических характеристик тела намотки формулы закона Гука должны быть несколько изменены [2]:

$$\varepsilon_r = \frac{\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{\theta r}}{E_\theta} \cdot \sigma_\theta,$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{\sigma_\theta}{E_\theta} - \frac{\mu_{r\theta}}{E_r} \cdot \sigma_r. \tag{20}$$

Последним слагаемым правой части уравнения (20) можно пренебречь на основании следующих соображений [1]: Во-первых, окружная деформация тела намотки εθ в основном зависит от напряжения σθ почти линейно. Физически это можно объяснить следующим образом: если натянутую тонкую нить подвергнуть боковому сжатию системой дискретных сил (что и происходит в теле намотки), то изменение ее длины обусловлено эффектом Пуассона и будет пренебрежимо мало. Во-вторых, присутствие указанного слагаемого приводит к противоречию в случае намотки нити на абсолютно жесткую оправку: при r=rв не могут быть одновременно выполнены очевидные условия σθ=0 и W=0, поскольку давление σr, оказываемое телом намотки на жесткую оправку, экстремально.

По формулировке задачи напряженно-деформированное состояние в теле намотки не должно зависеть от угловой координаты по соображениям симметрии, следовательно, задача будет осесимметричной. Из общей теории упругости известно, что $\tau_{r\theta} = 0$.

С учетом изложенного выше получаем следующую систему уравнений, описывающую напряженно-деформированное состояние тела намотки сновальной паковки:

Дифференциальное уравнение равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r + (\sigma_\theta - \sigma_0)}{r} + \rho \left(\frac{V}{\sqrt{r_H^2 + t_H \cdot \dfrac{Z_H T \cdot C^2 \cdot V}{\pi H \cdot 10^5}}} \right)^2 \cdot r = 0. \tag{21}$$

Формулы Коши:

$$\varepsilon_\theta = \frac{W}{r}, \tag{22}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\partial W}{\partial r}. \tag{23}$$

Формулы закона Гука:

$$\varepsilon_r = \frac{\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{\theta r}}{E_\theta} \cdot \sigma_\theta, \tag{24}$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{\sigma_\theta}{E_\theta}. \tag{25}$$

Решаем задачу в перемещениях. Из уравнений (22–25) определяем через перемещение W радиальное и окружное напряжения:

$$\varepsilon_\theta = \frac{W}{r} = \frac{\sigma_\theta}{E_\theta}, \quad \varepsilon_r = \frac{\partial W}{\partial r} = \frac{\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{\theta r}}{E_\theta},$$

$$\sigma_\theta = E_\theta \frac{W}{r}, \tag{26}$$

$$\sigma_r = E_r \frac{\partial W}{\partial r} + \mu_{\theta r} \frac{E_r}{E_\theta} \sigma_\theta = E_r \frac{\partial W}{\partial r} + \mu_{\theta r} \frac{E_r}{E_\theta} \cdot \frac{W}{r} \cdot E_\theta,$$

$$\sigma_r = E_r \frac{\partial W}{\partial r} + E_r \frac{\mu_{\theta r}}{r}. \tag{27}$$

Подставляем значения напряжений из (27) в уравнение равновесия (21), имеем:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(E_r \frac{\partial W}{\partial r} + E_r \mu_{\theta r} \frac{W}{r} \right) + \frac{1}{r}\left[\left(E_r \frac{\partial W}{\partial r} + E_r \mu_{\theta r} \frac{W}{r} \right) - E_\theta \frac{W}{r} \right] =$$

$$= -\rho \frac{\left(\dfrac{V}{\sqrt{r_H^2 + t_H \dfrac{Z_H T\, C^2 V}{\pi \mathrm{H} \cdot 10^5}}} \right)^2}{E_r} \cdot r - \frac{\sigma_0}{E_r} \cdot \frac{1}{r}. \tag{28}$$

Вводим обозначения

$$\frac{E_\theta}{E_r}=\lambda\,,\ \frac{\mu_{qr}}{r}=a\,,$$

$$\rho\frac{\left(\dfrac{V}{\sqrt{r_H^2+t_H\dfrac{Z_H T\ C^2 V}{\pi H\cdot 10^5}}}\right)^2}{E_r}=b\,,\ \frac{\sigma_0}{E_r}=l\,,$$

тогда уравнение (28) примет вид:

$$\frac{d^2W}{dr^2}+(1+2a)\frac{1}{r}\cdot\frac{dW}{dr}-\lambda\frac{W}{r^2}=-br-\frac{l}{r}. \qquad (29)$$

Вводим новую переменную $r=e^Z$, $Z=\ln\ r$,

т.к. $\dfrac{dz}{dr}=\dfrac{1}{r}$, то $\dfrac{dW}{dr}=\dfrac{dW}{dZ}\cdot\dfrac{dZ}{dr}=\dfrac{1}{r}\cdot\dfrac{dW}{dZ}$,

$$\frac{d^2W}{dr^2}=\frac{d}{dr}\left(\frac{dW}{dr}\right)=\frac{d}{dr}\left(\frac{1}{r}\cdot\frac{dW}{dZ}\right)=$$

$$=-\frac{1}{r^2}\cdot\frac{dW}{dZ}+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{d^2W}{dZ^2}=$$

$$=\frac{1}{r^2}\left(\frac{d^2W}{dZ^2}-\frac{dW}{dZ}\right).$$

Подставляя выражения производных в уравнение (29), получаем:

$$\frac{1}{r^2}\cdot\frac{d^2W}{dZ^2}-\frac{1}{r^2}\cdot\frac{dW}{dZ}+\frac{(1+2a)}{r^2}\cdot\frac{dW}{dZ}-\lambda\frac{W}{r^2}=-br-\frac{l}{r}\,,$$

$$\frac{d^2W}{dZ^2}+2a\frac{dW}{dZ}-\lambda W=-be^3-lr\,,$$

$$\frac{d^2W}{dZ^2}+2a\frac{dW}{dZ}-\lambda W=-be^{3Z}-le^Z\,. \qquad (30)$$

Соответствующее однородное уравнение принимает вид:

$$\frac{d^2W}{dZ^2}+2a\frac{dW}{dZ}-\lambda W=0\,. \qquad (31)$$

Решение ищем в виде $W=ce^{nz}$,

$$\frac{dW}{dZ}=cne^{nz}=nW,\quad \frac{d^2W}{dZ^2}=n^2W.$$

Подставляя выражения полученных производных в (31), получаем характеристическое уравнение

$$n^2+2an-\lambda=0,\ \ n_{1,2}=-a\pm\sqrt{a^2+\lambda}\,.$$

Так как $D=a^2+\lambda\geq 0$, то решение будет иметь вид:

$$W=c_1e^{nz_1}+c_2^{n_2z}\,. \qquad (32)$$

Частное решение будем искать в виде:

$$W^*=Ae^{3Z}+Be^Z\,,\ \frac{dW^*}{dZ}=3Ae^{3Z}+Be^Z\,,$$

где A и B – неопределенные постоянные, для нахождения которых подставляем производные в основное уравнение (30):

$$9Ae^{3Z}+Be^Z+2a\cdot 3Ae^{3Z}+$$

$$+2a\cdot Be^Z-\lambda Ae^{3Z}-\lambda Be^Z=$$

$$=be^{3Z}-le^Z\,.$$

Приравнивая коэффициенты с одинаковыми степенями, получаем уравнения для определения A и B:

$$9A+6aA-\lambda A=-b,\ \ B-2aB-\lambda B=-l.$$

Откуда $$A=-\frac{b}{9-6a-\lambda}, \qquad (33)$$

$$B=-\frac{1}{1+2a-\lambda}. \qquad (34)$$

Общее решение будет иметь вид:

$$W=c_1e^{nz_1}+c_2e^{n_2z}-$$

$$-\frac{b}{9+6a-\lambda}e^{3z}-\frac{l}{1+2a-\lambda}e^z\,. \qquad (35)$$

Переходя к переменной r, определяем функцию перемещения с точностью до постоянных c_1 и c_2.

$$W=c_1r^{n_1}+c_2r^{n_2}-$$

$$-\frac{b}{9+6a-\lambda}r^3-\frac{l}{1+2a-\lambda}r\,, \qquad (36)$$

или

$$W=c_1r^{n_1}+c_2r^{n_2}-$$

$$-\frac{b}{9+6a-\lambda}r^3-\frac{l}{1+2a-\lambda}r\,, \qquad (37)$$

где $\lambda=\dfrac{E_\theta}{E_r}$; $a=\dfrac{\mu_{\theta r}}{2}$; $b=\rho\dfrac{\omega^2}{E_r}$; $l=\dfrac{\sigma_0}{E_r}$;

$n_2=-a+\sqrt{a^2+\lambda}\,.$

Определяем функции напряжения

$$\sigma_\theta = \frac{E_\theta}{r} W = c_1 E_\theta r^{n_1-1} + c_2 E_\theta r^{n_2-1} - \\ -\frac{b}{9+6a-\lambda} r^2 - \frac{l}{1+2a-\lambda}, \tag{38}$$

$$\sigma_r = c_1 E_r \left(n_1 + \mu_{\theta r}\right) r^{n_1-1} + c_2 E_r \left(n^2 + \mu_{\theta r}\right) r^{n_2-1} - \\ -c_1 \frac{E_r b r^2}{9+6a-\lambda}(3+\mu_{\theta r}) - \frac{E_r l}{1+2a-\lambda}(1+\mu_{\theta r}). \tag{39}$$

Определяем функции относительной деформации

$$\varepsilon_\theta = \frac{W}{r} = c_1 r^{n-1_1} + c_2 r^{n_2-1} - \\ -\frac{b}{9+6a-\lambda} r^2 - \frac{l}{1+2a-\lambda}, \tag{40}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\partial W}{\partial r} = c_1 n_1 r^{n-1_1} + c_2 n_2 r^{n_2-1} - \\ -\frac{3br^2}{9+6a-\lambda} - \frac{l}{1+2a-\lambda}. \tag{41}$$

Постоянные интегрирования c1 и c2 определяются из следующих условий:

На оправке радиуса r=rb смещение в радиальном направлении равно нулю

$$W(r_b) = 0. \tag{42}$$

На свободной наружной поверхности при r=rн радиальное напряжение равно нулю

$$\sigma_r(r_H) = 0. \tag{43}$$

Условиям (42) и (43) соответствуют следующие уравнения:

$$c_1 r_b^{n_1} + c_2 r_b^{n_2} - \frac{b}{9+6a-\lambda} r_b^3 - \frac{l}{1+2a-\lambda} r_b = 0, \tag{44}$$

$$c_1 E_r \left(n_1 + \mu_{\theta r}\right) r_H^{n_1-1} + c_2 E_r \left(n^2 + \mu_{\theta r}\right) r_H^{n_2-1} - \\ -\frac{E_r b(3+\mu_{\theta r})}{9+6a-\lambda} r_H^2 - \frac{E_r l}{1+2a-\lambda}(1+\mu_{\theta r}) = 0. \tag{45}$$

Вводим обозначения:

$$\alpha_{11} = r_b^{n_1};\ \beta_1 = \frac{b}{9+6a-\lambda} r_b^3 + \frac{l}{1+2a-\lambda} r_b;$$

$$\alpha_{12} = r_b^{n_2};$$

$$E_r \alpha_{21} = E_r \left(n_1 + \mu_{\theta r}\right) r_H^{n_1-1};$$

$$E_r \alpha_{22} = E_r \left(n^2 + \mu_{\theta r}\right) r_H^{n_2-1};$$

$$E_r \beta_2 = \frac{E_r b(3+\mu_{\theta r})}{9+6a-\lambda} r_H^2 - \frac{E_r l}{1+2a-\lambda}(1+\mu_{\theta r}). \tag{46}$$

Тогда система примет вид

$$\alpha_{11} c_1 + \alpha_{12} c_2 = \beta_1,\quad \alpha_{21} c_1 + \alpha_{22} c_2 = \beta_2$$

$$c_1 = \frac{\begin{vmatrix} \beta_1 \alpha_{12} \\ \beta_2 \alpha_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \alpha_{11} \alpha_{12} \\ \alpha_{21} \alpha_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\beta_1 \alpha_{22} - \beta_2 \alpha_{12}}{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{12} \alpha_{21}}, \tag{47}$$

$$c_2 = \frac{\begin{vmatrix} \alpha_{11} \beta_1 \\ \alpha_{21} \beta_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \alpha_{11} \alpha_{12} \\ \alpha_{21} \alpha_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\alpha_{11} \beta_2 - \alpha_{21} \beta_1}{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{21} \alpha_{12}}. \tag{48}$$

Разумеется, формулы напряжений и деформаций можно привести к виду, включающему только исходные параметры, но тогда они будут слишком громоздкими.

Более удобно представить результаты в форме системы формул:

$$\lambda = \frac{E_\theta}{E_r};\quad a = \frac{\mu_{\theta r}}{2};\quad b = \frac{\rho w^2}{Er};\quad l = \frac{\sigma_0}{Er};$$

$$n_1 = -a - \sqrt{a^2 + \lambda};\ n_2 = -a + \sqrt{a^2 + \lambda};$$

$$\alpha_{11} r_b^{n_1};\ \alpha_{12} r_b^{n_2};\ \beta_1 = \frac{b}{9+6a-\lambda} r_b^3 - \frac{l}{1+2a-\lambda} r_b;$$

$$\alpha_{21} = \left(n_1 + \mu_{\theta r}\right) r_H^{n_1-1};\ \alpha_{22} = \left(n^2 + \mu_{\theta r}\right) r_H^{n_2-1};$$

$$\beta_2 = \frac{b(3+\mu_{\theta r})}{9+6a-\lambda} r_H^2 + \frac{l(1+\mu_{\theta r})}{1+2a-\lambda};\ A = 9+6a-\lambda;$$

$$B = 1+2a-\lambda;\ c_1 = \frac{\beta_1 \alpha_{22} - \beta_2 \alpha_{12}}{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{12} \alpha_{21}};$$

$$c_2 = \frac{\alpha_{11} \beta_2 - \alpha_{21} \beta_1}{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{21} \alpha_{12}};\ W = c_1 r^{n_1} + c_2 r^{n_2} - \frac{br^3}{A} - \frac{l}{B} r;$$

$$\sigma_\theta = E_\theta \left(c_1 r^{n-1_1} + c_2 r^{n_2-1} - \frac{br^2}{A} - \frac{l}{B} \right);$$

$$\sigma_r = E_r \left(c_1 (n_1 + \mu_{\theta r}) r^{n_1-1} + c_2 (n_2 + \mu_{\theta r}) r^{n_2-1} - \frac{br^2}{A}(3+\mu_{\theta r}) - \frac{l}{B}(1-\mu_{\theta r}) \right);$$

$$\varepsilon_\theta = c_1 r^{n_1-1} + c_2 r^{n_2-1} - \frac{br^2}{A} - \frac{l}{B};$$

$$\varepsilon_r = c_1 n_1 r^{n_1-1} + c_2 n_2 r^{n_2-1} - \frac{3br^2}{A} - \frac{l}{B}.$$

Таким образом, в данной работе описано исследование напряженного состояния сновальной паковки на основе общей теории упругости с учетом анизотропии, объемных сил в теле намотки, являющихся результатом тангенциального и нормального ускорений.

На основании указанного исследования приведены инженерные методы расчета для оценки напряженно-деформированного состояния и динамики сновальной паковки из нитей основы при намотке на сновальный валик.

Литература

1. *Гордеев В.А.* К расчету давлений намотки текстильных материалов.– Л.: ЛТИ, 1957. – №9.
2. *Степанов В.А.* Теоретическое и экспериментальное исследование формирования текстильных паковок и разработка методов их расчета: Автореф. дис. …докт. техн. наук. – Кострома: КТИ, 1978.
3. *Александров С.А., Кленов В.Б.* Формирование ткацких паковок.–М.: Легкая индустрия, 1976.
4. *Джаманкулов К.Д.* Стабилизация процессов наматывания и сматывания пряжи в сновальных машинах: Авторф. дис. …докт. техн. наук. – Кострома: КТИ, 1990.
5. *Вайнер И.И.* Развитие теоретических основ технологии формирования паковок текстильных нитей и их практическая реализация в текстильной промышленности: Автореф. дис. …докт. техн. наук. – Л., 1990.
6. *Линник В.А.* Разработка эффективных методов повышения устойчивости паковок на машин для производства химических нитей: Автореф. дис. …докт. техн. наук. – М.: МГТА, 1990.
7. *Сухарев В.А., Матюшев И.И.* Расчет тел намотки. – М.: Машиностроение, 1982.