

УДК: 677.057

DOI: [10.47813/2782-2818-2022-2-2-16-28](https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-16-28)

EDN: [AWHTFI](https://www.edn.net/AWHTFI)



## Контактные задачи теории валкового отжима кожи

Ш.Р. Хуррамов, Ф.З. Курбанова

*Ташкентский архитектурно строительный институт, Ташкент, Узбекистан*

**Аннотация.** В статье решены основные контактные задачи теории валкового отжима кожи. Разработаны математические модели формы кривых контакта валков, напряжений трения и представлены закономерности распределения контактных напряжений по кривым контакта валков. Выявлено, что формы кривых контакта валков двухвалкового модуля не зависят от изменения влажности кожи в зоне контакта валков. Установлено, что модель напряжений трения в двухвалковом модуле отжима кожи не зависит от угла наклона обрабатываемого материала относительно линии центров.

**Ключевые слова:** валковый отжим кожи, контактные задачи, кривые контакта валков, контактные напряжения, напряжения трения.

**Для цитирования:** Хуррамов, Ш.Р. & Курбанова, Ф.З. (2022). Контактные задачи теории валкового отжима кожи. *Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies*, 2(2), 0116–0128. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-16-28>.

## Contact problems of the theory of roller squeezing of leather

Sh.R. Khurramov, F.Z. Kurbanova

*Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

**Abstract.** The article deals with the main contact problems of the theory of roller squeezing of leather. Mathematical models of the shape of the roll contact curves, of friction stresses and the regularities of the distribution of contact stresses along the roll contact curves have been developed. A formula was derived that describes the model of friction stresses. It was revealed that the shapes of the roll contact curves of the two-roll module do not depend on the change in the moisture content of hides in the contact zone of the rollers. It was established that the model of friction stresses in a two-roll module for pressing leather does not depend on the inclination of the material layer fed to the center line.

**Keywords:** roller pressing of leather, contact problems, roll contact curves, contact stresses, friction stresses.

**For citation:** Khurramov, Sh.R. & Kurbanova, F.Z. (2022). Contact problems of the theory of roller squeezing of leather. *Modern Innovations, Systems and Technologies*, 2(2), 0116–0128. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-1-21>.

## 1. Введение

Основным рабочим органом валковых машин для отжима кожевенного полуфабриката является пара рабочих валков с эластичным покрытием (сукном). Пара рабочих валков (валковая пара) и слой кожевенного полуфабриката после дубления (слой кожи) вместе создают двухвалковый модуль отжима кожи.

В процессе валкового отжима кожевенного полуфабриката наблюдается одновременно два явления – контактное взаимодействие и фильтрация влаги. Это, в свою очередь, требует в рамках теории валкового отжима кожи совместного решения двух типов задач – контактных задач и гидравлических задач.

Основными контактными задачами теории валкового отжима кожи являются задачи математического моделирования формы кривых контакта валков и выявление закономерностей распределения контактных напряжений по кривым контакта валков в двухвалковом модуле валкового отжима кожи.

В работах [1-6] аналитически описаны уравнения кривых контакта валков и закономерностей распределения контактных напряжений в двухвалковых модулях, в которых не учтены фильтрация влаги из мокрого материала в процессе отжима.

Данная работа посвящена моделированию кривых контакта двухвалковых модулей отжима кожи. При этом учитывается как фильтрация влаги из кожевенного полуфабриката в процессе отжима, так и деформационные свойства кожевенного полуфабриката.

Анализ кожевенных валковых отжимных машин [7] показал, что двухвалковые модули отжима кожи в основном имеют симметричный вид.

Рассматриваем двухвалковый модуль отжима кожи, в котором валки с радиусами  $R$  имеют эластичное покрытие из сукна с толщиной  $H$ , толщина слоя кожи равна  $\delta_1$ , расстояния между валками равно  $h$ , оба валка приводные (рис. 1).

Так как рассматриваемый двухвалковый модуль симметричный, будем исследовать контактное взаимодействие кожи с любой, например, с нижним валком. Кривая контакта валка состоит из зон сжатия и восстановления (рис. 1). Точки зоны

сжатия валка определяются полярными координатами  $r_1$  и  $\theta_1$ , а точки участка восстановления –  $r_2$  и  $\theta_2$ , где

$$-\varphi_1 \leq \theta_1 \leq 0, \quad 0 \leq \theta_2 \leq \varphi_2, \quad (1)$$

здесь  $\varphi_1, \varphi_2$  – контактные углы.

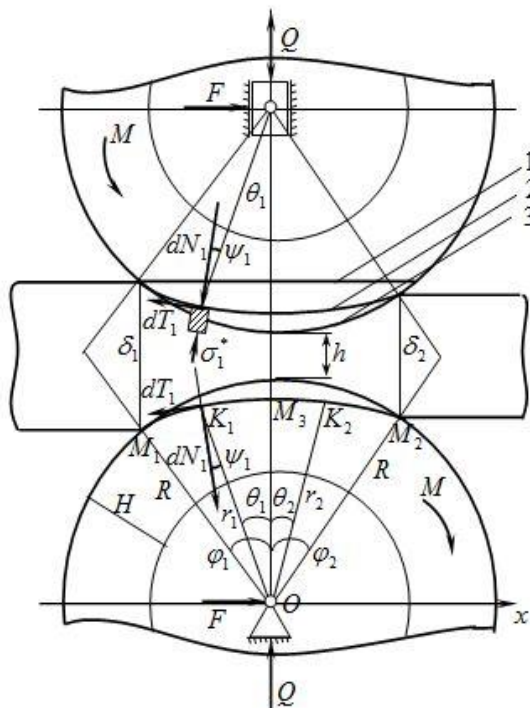


Рисунок 1. Схема взаимодействия  
в двухвалковом модуле отжима кожи

Из рисунка 1 следует, что  $2R \cos \varphi_1 + \delta_1 = 2R + h$ .

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{\delta_1 - h}{R}}. \quad (2)$$

Аналогично (2), имеем

$$\varphi_2 = \sqrt{\frac{\delta_2 - h}{R}}, \quad (3)$$

где  $\delta_2$  – конечная толщина слоя кожи.

Согласно исследованию [8], деформационные свойства кожи (кожевенного полуфабриката после хромового дубления) при сжатии и восстановлении описываются зависимостями степенного вида:

зависимость «напряжения – относительная деформация»:

$$\sigma = 43,39\varepsilon_c^{3,23}; \quad \sigma = 85,93\varepsilon_B^{3,03}, \quad (4)$$

зависимость «влажность – относительная деформация»:

$$W = 1,13\varepsilon_c^{0,2}; \quad W = 1,24\varepsilon_B^{0,24}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_c$ ,  $\varepsilon_B$  – относительная деформация сжатия и восстановления.

Согласно выражениям (4) и (5) деформационные свойства кожи при сжатии описываются зависимостями

$$\sigma_1^* = \alpha_1 \varepsilon_1^{*s_1}, \quad W_1^* = W_n^* - \beta_1 \varepsilon_1^{*l_1}, \quad (6)$$

где  $W_n^*$  – начальная влажность кожи;  $\alpha_1 = 43,39$ ;  $\beta_1 = 1,13$ ;  $s_1 = 3,23$ ;  $l_1 = 0,2$ .

Из зависимостей (6) имеем

$$\frac{\sigma_1^*}{W_n^* - W_1^*} = \frac{\alpha_1}{\beta_1} \varepsilon_1^{*(s_1 - l_1)},$$

или

$$\sigma_1^* = B_1 \varepsilon_1^{*m_1} (W_n^* - W_1^*), \quad (7)$$

где  $B_1 = \frac{\alpha_1}{\beta_1}$ ,  $m_1 = s_1 - l_1$  ( $B_1 = 37,51$ ;  $m_1 = 3,03$ ).

Из анализа результатов исследований [9,10] следует, что деформация покрытия вала (сукна) при сжатии и восстановлении может быть описана зависимостями вида

$$\sigma_j = A_j \varepsilon_j^{m_j} (W_j - W_{jn}), \quad j = 1, 2, \quad (8)$$

где  $W_{jn}$  – влажность сукна в начальной точке  $j$ -й зоны кривого контакта вала.

В каждой точке кривого контакта деформация кожи и покрытие вала будут происходить по нормали  $n-n$ . Поэтому в каждой точке зоны сжатия  $M_1M_3$  выполняется равенство напряжений (по закону Ньютона), то есть условие

$$\frac{\sigma_1}{\cos \psi_1} = \frac{\sigma_1^*}{\cos \psi_1}, \quad \text{где } \psi_1 - \text{угол между радиусом } r_1 \text{ и линией } n-n.$$

Откуда  $\sigma_1 = \sigma_1^*$ .

Поэтому, можно считать, что деформация кожи и покрытие вала в двухвалковом модуле происходят в радиальном направлении к оси валков.

Тогда согласно выражениям (7) и (8), имеем

$$A_1 \varepsilon_1^{m_1} (W_1 - W_{1n}) = B_1 \varepsilon_1^{*m_1} (W_n^* - W_1^*), \quad (9)$$

где  $\varepsilon_1, A_1, m_1, \varepsilon_1^*, B_1, m_1^*$  – деформация, коэффициенты деформирования и упрочнения сукна и кожи при сжатии, соответственно.

В процессе отжима удаляемая из кожи влага до точки  $K_1$  переходит к покрытию валка по кривой контакта  $M_1M_2$ . При этом, количество удаляемой влаги из кожи до точки  $K_1 - W_{1уд}^* = W_n^* - W_1^*$  равняется количеству влаги, переданной покрытию валка до этой точки –  $W_{1п} = (W_1 - W_{1н})$ .

Таким образом, для каждой точки зоны сжатия  $M_1M_3$  нижнего валка выполняется равенство

$$(W_1 - W_{1н}) = (W_n^* - W_1^*). \quad (10)$$

Тогда из равенства (9), имеем

$$A_1 \varepsilon_1^{m_1} = B_1 \varepsilon_1^{*m_1^*}. \quad (11)$$

Продифференцировав обе части равенства (11), находим

$$m_1 A_1 \varepsilon_1^{m_1-1} d\varepsilon_1 = m_1^* B_1 \varepsilon_1^{*m_1^*-1} d\varepsilon_1^*.$$

Откуда

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1^*} = \frac{m_1}{m_1^*} \cdot \frac{d\varepsilon_1}{d\varepsilon_1^*} = \frac{m_1}{m_1^*} \cdot \frac{\frac{d\varepsilon_1}{dt}}{\frac{d\varepsilon_1^*}{dt}}. \quad (12)$$

Считаем, что

$$\frac{\frac{d\varepsilon_1}{dt}}{\frac{d\varepsilon_1^*}{dt}} = \lambda_1. \quad (13)$$

где  $\lambda_1$  – соотношение относительных деформаций эластичного покрытия валка и слоя кожи при сжатии.

Из равенств (12) и (13) имеем

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1^*} = \frac{m_1}{m_1^*} \lambda_1. \quad (14)$$

Согласно рис. 1, относительные деформации контактирующих тел имеют вид

$$\varepsilon_1 = \frac{R - r_1}{H}, \quad \varepsilon_1^* = \frac{r_1 - R \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1}}{\frac{\delta_1}{2 \cos \varphi_1}}. \quad (15)$$

Из равенства (14) с учетом выражения (15), находим

$$R - r_1 = k_1 \lambda_1 \left( r_1 - R \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right), \quad (16)$$

где  $k_1 = \frac{2m_1 H \cos \varphi_1}{m_1^* \delta_1}$ .

Решив равенства (16) относительно  $r_1$ , найдем уравнение кривой контакта зоны сжатия

$$r_1 = \frac{R}{1 + k_1 \lambda_1} \left( 1 + k_1 \lambda_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right). \quad (17)$$

Аналогично формуле (17) находим уравнение кривой контакта зоны восстановления

$$r_2 = \frac{R}{1 + k_2 \lambda_2} \left( 1 + k_2 \lambda_2 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} \right), \quad (18)$$

где  $k_2 = \frac{m_2 H \cos \varphi_2}{m_2^* \delta_2}$ .  $\lambda_2$  – соотношение скоростей относительных деформаций

эластичного покрытия валка и слоя кожи при восстановлении.

Обобщая уравнения (17) и (18), имеем

$$\begin{cases} r_1 = \frac{R}{1 + k_1 \lambda_1} \left( 1 + k_1 \lambda_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right), & -\varphi_1 \leq \theta_1 \leq 0, \\ r_2 = \frac{R}{1 + k_2 \lambda_2} \left( 1 + k_2 \lambda_2 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} \right), & 0 \leq \theta_2 \leq \varphi_2. \end{cases} \quad (19)$$

Система уравнений (19) описывает кривые контакта валков двухвалкового модуля отжима кожи.

Если в двухвалковом модуле валки имеют недеформируемое покрытие, то  $\lambda_j = 0$ . Тогда из системы (19) следует, что  $r = R$ ,  $-\varphi \leq \theta \leq \varphi$ .

Если в двухвалковом модуле кожа не деформируется, то  $\lambda_j = \infty$ . Тогда из системы (19) следует, что  $r = \frac{R \cos \varphi}{\cos \theta}$ ,  $-\varphi \leq \theta \leq \varphi$ .

Таким образом, любой график кривого контакта валка двухвалкового модуля валкового отжима кожи (кривая 2) лежит между графиками кривых  $r = \frac{R \cos \varphi}{\cos \theta}$  (кривая 1) и  $r = R$  (кривая 3) (рис. 1).

Анализ системы (19) показывает, что формы кривых контакта валков двухвалкового модуля не зависят от изменения влажности кожи в зоне контакта валков.

Проанализируем напряженное состояние в двухвалковом модуле отжима кожи.

В установившемся процессе взаимодействия на валок действуют: сила давления прижимных устройств  $Q$ , горизонтальная реакция опор валка  $F$ , момент сил сопротивления  $M$ , элементарные силы нормального давления и трения, действующие по всей кривой контакта валка. Элементарные силы в зонах сжатия  $(N_1, T_1)$  и восстановления  $(N_2, T_2)$  представим отдельно.

Рассматривая валок в равновесии под действием приложенных сил, получаем

$$\begin{cases} N_{1x} + T_{1x} + F_{1x} + Q_{1x} = 0, \\ N_{1y} + T_{1y} + F_{1y} + Q_{1y} = 0 \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} dN_{1x} + dT_{1x} + dF_{1x} + dQ_{1x} = 0, \\ dN_{1y} + dT_{1y} + dF_{1y} + dQ_{1y} = 0, \end{cases} \quad (20)$$

где  $N_{1x}$ ,  $N_{1y}$ ,  $T_{1x}$ ,  $T_{1y}$  – проекции главных нормальных и касательных сил зоны сжатия на осях  $x$  и  $y$ .

Из схемы сил зоны сжатия (рис. 1) имеем

$$\begin{aligned} dN_{1x} &= dN_1 \sin(\theta_1 - \psi_1), & dN_{1y} &= -dN_1 \cos(\theta_1 - \psi_1), & dT_{1x} &= -dT_1 \cos(\theta_1 - \psi_1), \\ dT_{1y} &= -dT_1 \sin(\theta_1 - \psi_1), & dF_{1x} &= dF_1, & dF_{1y} &= 0, & dQ_{1x} &= 0, & dQ_{1y} &= dQ_1, \end{aligned} \quad (21)$$

где  $\psi_1$  – угол между силой  $dN_1$  и радиусом  $r_1$ .

С учетом уравнения (21) из системы (20) для зоны сжатия имеем

$$\frac{dF_1}{dQ_1} = \frac{dT_1 \cos(\theta_1 - \psi_1) - dN_1 \sin(\theta_1 - \psi_1)}{dT_1 \sin(\theta_1 - \psi_1) + dN_1 \cos(\theta_1 - \psi_1)}. \quad (22)$$

Так как рассматриваем установившийся процесс, то можно считать, что  $\frac{F_1}{Q_1} = C_1$ ,

где  $C_1$  – постоянная величина. Отсюда имеем  $\frac{dF_1}{dQ_1} = \frac{F_1}{Q_1} = C_1$ . Тогда уравнение (22)

будет иметь вид

$$\frac{dT_1}{dN_1} = \frac{\sin(\theta_1 - \psi_1) + C_1 \cos(\theta_1 - \psi_1)}{\cos(\theta_1 - \psi_1) - C_1 \sin(\theta_1 - \psi_1)}. \quad (23)$$

Элементарные силы связаны с контактными напряжениями соотношениями [7]:

$$dN_1 = n_1 \sqrt{r_1^2 + r_1'^2} d\theta_1, \quad dT_1 = t_1 \sqrt{r_1^2 + r_1'^2} d\theta_1, \quad (24)$$

где  $n_1 = n_1(\theta_1)$ ,  $t_1 = t_1(\theta_1)$ , соответственно, нормальные и касательные напряжения, распределенные на участке сжатия кривого контакта валка.

Подставим выражения (24) в равенства (23), затем преобразуем согласно выражениям  $\cos \psi_1 = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + r_1'^2}}$ ,  $\sin \psi_1 = \frac{r_1'}{\sqrt{r_1^2 + r_1'^2}}$  и получаем зависимости,

связывающие касательные и нормальные напряжения в точках зоны сжатия кривого контакта валка

$$t_1 = \frac{(\sin \theta_1 + C_1 \cos \theta_1)r_1 - (\cos \theta_1 - C_1 \sin \theta_1)r_1'}{(\cos \theta_1 - C_1 \sin \theta_1)r_1 + (\sin \theta_1 + C_1 \cos \theta_1)r_1'} n_{11}, \quad (25)$$

Формулу (25), связывающую касательные и нормальные напряжения, также называют моделью напряжения трения.

Модель напряжений трения зоны восстановления получим аналогично

$$t_2 = \frac{(\sin \theta_2 + C_2 \cos \theta_2)r_2 - (\cos \theta_2 - C_2 \sin \theta_2)r_2'}{(\cos \theta_2 - C_2 \sin \theta_2)r_2 + (\sin \theta_2 + C_2 \cos \theta_2)r_2'} n_2, \quad (26)$$

где  $C_2 = \frac{F_2}{Q_2}$ .

Заметим, что в точке кривой контакта, лежащей на линии центров, выполняются граничные условия

$$t_1(0) = t_2(0), \quad n_1(0) = n_2(0), \quad r_1(0) = r_2(0), \quad r_1'(0) = r_2'(0) = 0.$$

Эти условия приводят к равенству  $C_1 = C_2$ . Тогда имеем  $C = C_1 = C_2 = \frac{F}{Q}$ .

Коэффициент  $C = \frac{F}{Q}$  называют динамическим коэффициентом валка [7].

Следовательно, обобщая уравнения (25) и (26), имеем

$$\begin{cases} t_1 = \frac{(Q \sin \theta_1 + F \cos \theta_1)r_1 - (Q \cos \theta_1 - F \sin \theta_1)r_1'}{(Q \cos \theta_1 - F \sin \theta_1)r_1 + (Q \sin \theta_1 + F \cos \theta_1)r_1'} n_1, & -\varphi_1 \leq \theta_1 \leq 0, \\ t_2 = \frac{(Q \sin \theta_2 + F \cos \theta_2)r_2 - (Q \cos \theta_2 - F \sin \theta_2)r_2'}{(Q \cos \theta_2 - F \sin \theta_2)r_2 + (Q \sin \theta_2 + F \cos \theta_2)r_2'} n_2, & 0 \leq \theta_2 \leq \varphi_2. \end{cases} \quad (27)$$

Система уравнений (27) определяет модель напряжений трения в двухвалковом модуле отжима кожи. Она показывает, что модель напряжений трения в двухвалковом



модуле отжима кожи не зависит от наклона подачи слоя материала к линии центров и от наклона верхнего валка относительно вертикали.

Полагая  $tg\xi = C$ , уравнение (25) преобразуем к виду

$$t_1 = \frac{\sin(\theta_1 + \xi)r_1 - \cos(\theta_1 + \xi)r_1'}{\cos(\theta_1 + \xi)r_1 + \sin(\theta_1 + \xi)r_1'} n_1. \quad (28)$$

Учитывая теперь  $tg\psi_1 = \frac{r_1'}{r_1}$ , перейдем к выражению

$$t_1 = tg(\theta_1 - \psi_1 + \xi_1)n_1. \quad (29)$$

Аналогично преобразуем модели напряжений трения  $t_2$ :

$$t_2 = tg(\theta_1 - \psi_1 + \xi_1)n_1. \quad (30)$$

Обобщая уравнения (28) и (29), имеем

$$\begin{cases} t_1 = tg(\theta_1 - \psi_1 + \xi)n_1, & -\varphi_1 \leq \theta_1 \leq 0, \\ t_2 = tg(\theta_2 - \psi_2 + \xi)n_2, & 0 \leq \theta_2 \leq \varphi_2, \end{cases} \quad (31)$$

Система уравнений (31) определяет модель напряжений трения в двухвалковом модуле отжима кожи в упрощенном виде.

В зоне сжатия очага деформации выделим элемент длиной  $dl_1$  и направленный по линии  $n-n$ , так как деформация слоя кожи происходит в этом направлении (рис. 1). На выделенный элемент слоя кожи действуют со стороны нижнего валка элементарные нормальная  $dN_1$  и касательная  $dT_1$  силы и реакция отсеченных частей слоя кожи.

Составляющие силы  $dN_1$  и  $dT_1$  по направлению  $n-n$  уравниваются силой  $\sigma_1^* dl_{11}$  (рис. 1):

$$\sigma_1^* dl_1 - dN_1 \cos 0^\circ - dT_1 \sin 0^\circ = 0$$

или

$$\sigma_1^* = n_1, \quad (32)$$

где  $\sigma_1^*$  – напряжение сжатия слоя кожи в направлении  $n-n$ .

Тогда с учетом равенств (6) и (7) имеем

$$n_1 = \alpha_1 \varepsilon_1^{*sj}. \quad (33)$$

Из равенства (15) следует, что

$$\varepsilon_1^* = \frac{2 \cos \varphi_1}{\delta_1} \left( r_1 - R_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right).$$

или после подстановки выражения  $r_1$  из уравнения (17), получим

$$\varepsilon_1^* = \frac{2R \cos \varphi_1}{\delta_1 (1 + k_1 \lambda_1)} \left( 1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right). \quad (34)$$

Подставляя это выражения  $\varepsilon_1^*$  в равенства (33), найдем закономерности распределения нормального напряжения в зоне сжатия кривой контакта валка

$$n_1 = A_1 \left( 1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right)^{s_1}, \quad (35)$$

где  $A_1 = \alpha_1 \left( \frac{2R \cos \varphi_1}{\delta_1 (1 + k_1 \lambda_1)} \right)^{s_1}$ .

Закономерности распределения нормальных напряжений в зоне восстановления кривой контакта валка определяем аналогично

$$n_2 = A_2 \left( 1 - \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} \right)^{s_2}, \quad (36)$$

где  $A_2 = \alpha_2 \left( \frac{2R \cos \varphi_2}{\delta_2 (1 + k_2 \lambda_2)} \right)^{s_2}$ .

Из уравнений (35) и (36) с учетом системы уравнений (31) находим закономерности распределения касательных напряжений по кривой контакта валков двухвалкового модуля отжима кожи. Они имеют вид

$$t_1 = A_1 \left( 1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right)^{s_1} \operatorname{tg}(\theta_1 - \psi_1 + \xi), \quad (37)$$

$$t_2 = A_2 \left( 1 - \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} \right)^{s_2} \operatorname{tg}(\theta_2 - \psi_2 + \xi). \quad (38)$$

Для анализа характера распределения касательных напряжений по кривой контакта валка особое значение имеет точка, в которой касательная напряжения равняется нулю, то есть нейтральная точка.

Пусть нейтральная точка кривого контакта валка определяется углом  $(-\varphi_3)$ .

Тогда из формулы (37) следует, что для приводного валка справедливо равенство

$$\operatorname{tg}(-\varphi_3 - \psi_1(-\varphi_3) + \xi) = 0$$

или

$$\operatorname{tg}(-\varphi_3 - \psi_1(-\varphi_3) + \xi) \approx \operatorname{tg}(-\varphi_3 - \psi_1(-\varphi_3)) + \operatorname{tg} \xi = -\frac{Q \varphi_3 - F(1 + k_1 \lambda_1 \cos \varphi_1)}{Q(1 + k_1 \lambda_1 \cos \varphi_1)} = 0.$$

Откуда имеем

$$\varphi_3 = \frac{F(1 + k_1 \lambda_1 \cos \varphi_1)}{Q}. \quad (39)$$

Таким образом, получены математические модели распределения контактных напряжений по кривой контакта валков двухвалкового модуля отжима кожи.

### 3. Результаты

1. Разработаны математические модели формы кривых контакта валков, напряжений трения и закономерности распределения контактных напряжений по кривым контакта валков.

2. Выявлено, что формы кривых контакта валков двухвалкового модуля не зависят от изменения влажности кожи в зоне контакта валков.

3. Установлено, что модель напряжений трения в двухвалковом модуле отжима кожи не зависит от наклона подачи слоя материала к линии центров и от наклона верхнего валка относительно вертикали.

### 4. Выводы

Анализ расчетных данных по полученным моделям распределения контактных напряжений свидетельствует о том, что нормальные и касательные контактные напряжения по поверхности контакта валков распределяются неравномерно:

- нормальные контактные напряжения изменяются от нуля в начале и в конце зоны контакта валков до максимума в точке, лежащей на линии центров;
- касательные контактные напряжения меняют свои знаки в нейтральной точке, которая в приводном валке находится со стороны входа слоя материала в зону контакта валков.

### Список литературы

- [1] Хуррамов, Ш.Р. Аналитическое описание формы кривых контакта валков в двухвалковом модуле // Известия вузов. Технология текстильной промышленности» – 2021, №4 (394), С. 153-158.
- [2] Khurramov, Sh.R., Abdugarimov, A., Khalturayev, F.S., Kurbanova, F.Z. Modeling of friction forces in an asymmetric two-roll module. IOP Conf. Series: Materials Science and

Engineering. 916 (2020) 012051 doi:10.1088/1557-899X/916/1/012051.

[3] Alexa, V., Ratiu, S.A., Kiss, I., Ciota, G. Modeling pressure rolling of asymmetric rolling process. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 200 (2017) 012038.

[4] Kuznetsov, G.K. Research and methodology for the design of roller squeezing devices for textile machines: Dis. ... doct. tech. sciences. Kostroma: KTI, 1970.- 287 с.

[5] Холтураев, Ф.С. Математическое моделирование и совершенствование процесса отжима кожи валковыми машинами: Дис... канд. техн. наук. – Ташкент, 2021. – 126 с.

[6] Курбанова, Ф.З. Исследование контактного взаимодействия в валковых парах для совершенствования процессов механической обработки листовых материалов: Дис... канд. техн. наук. – Ташкент, 2022. – 133 с.

[7] Бурмистров, А.Г. Машины и аппараты производства кож и меха. – М.: Колос, 2006.–384 с.

[8] Khurramov, Sh.R, Khalturaev, F.S., Kurbanova, F.Z. Deformation and Filtration Characteristics of a Leather Semi-Finished Product. Cyber-Physical Systems: Design and Application for Industry 4.0. Studies in Systems, Decision and Control, vol 342. Springer, pp. 227-239.

[9] Казаков, Я.В. Характеристики деформативности как основополагающий критерий в оценке качества целлюлозно-бумажных материалов: Автореф. дис. ...докт. техн. наук. Архангельск, 2015. – 47 с.

[10] Колычев, М.В., Кокушин, Н.Н. Исследование деформационных свойств прессовых сукон бумагоделательных машин. // Целлюлоза. Бумага. Картон. – М., 2015. – №6. – С. 68-72.

### References

[1] Khurramov, Sh.R. Analiticheskoye opisaniye formy krivyx kontakta valkov v dvuxvalkovom module // Izvestiya vysshix uchebnykh zavedeniy, Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Ivanova, 2021. – №4 (394). – S. 153-158.

[2] Khurramov, Sh.R., Abdugarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction forces in an asymmetric two-roll module. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 916 (2020) 012051 doi:10.1088/1557-899X/916/1/012051.

[3] Alexa, V., Ratiu, S.A., Kiss, I., Ciota, G. Modeling pressure rolling of asymmetric rolling process. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 200 (2017) 012038.

[4] Kuznetsov, G.K. Research and methodology for the design of roller squeezing devices for textile machines: Dis. ... doct. tech. sciences. Kostroma: KTI, 1970.- 287 с.

- [5] Xolturayev, F.S. Matematicheskoye modelirovaniye i sovershenstvovaniye protsessa otjima koji valkovymi mashinami: Dis... kand. texn. nauk. – Tashkent, 2021. – 126 s.
- [6] Kurbanova, F.Z. Issledovaniye kontaktnogo vzaimodeystviya v valkovyx parax dlya sovershenstvovaniya protsessov mexanicheskoy obrabltki listovyx materialov: Dis... kand. texn. nauk. – Tashkent, 2022. – 133 s.
- [7] Burmistrov, A.G. Mashiny i apparaty proizvodstva koji i mexa. –M.: Kolos, 2006. –384 s.
- [8] Khurramov, Sh.R, Khalturaev, F.S., Kurbanova, F.Z. Deformation and Filtration Characteristics of a Leather Semi-Finished Product. Cyber-Physical Systems: Design and Application for Industry 4.0. Studies in Systems, Decision and Control, vol 342. Springer, pp. 227-239.
- [9] Kazakov, Ya.V. Xarakteristiki deformativnosti kak osnovopolagayushiy kriteriy v otsenke kachestva sellyulozno-bumajnyx materialov: Avtoref. dis. ...dokt. texn. nauk. Arxangelsk, 2015. – 47 s.
- [10] Kolychev, M.V., Kokushin N.N. Issledovaniye deformatsionnyx svoystv pressovyx sukon bumagadelatelnyx mashin. // Sellyuloza. Bumaga. Karton. –M., 2015. – №6. – S. 68-72.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Хуррамов Шавкат Рахматуллаевич,**  
к.т.н, доцент, Ташкентский архитектурно  
строительный институт, Ташкент,  
Республика Узбекистан  
e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

**Shavkat R. Khurramov,** Ph.D. Sciences,  
Ass. Prof, Tashkent Institute of Architecture  
and Civil Engineering, Tashkent, Republic  
of Uzbekistan  
e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

**Курбанова Фируза Зариповна,**  
ст. преп., Ташкентский архитектурно  
строительный институт, Ташкент,  
Республика Узбекистан  
e-mail: ladykurbanova@mail.ru

**Firuz Z. Kurbanova,** Senior Lecturer,  
Tashkent Institute of Architecture and Civil  
Engineering, Tashkent, Republic of  
Uzbekistan  
e-mail: ladykurbanova@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 15.04.2022; одобрена после рецензирования 25.04.2022;  
принята к публикации 27.04.2022.*

*The article was submitted 15.04.2022; approved after reviewing 25.04.2022;  
accepted for publication 27.04.2022.*