

УДК: 677.057 DOI: https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0312-0323

Скорости фильтрации в области отжима материалов

Ш. Р. Хуррамов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Определены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима. Установлено, что скорость фильтрации жидкости вдоль оси абсцисс на границах зоны сжатия равна нулю, а внутри зоны принимает отрицательные значения. Выявлено, что скорости фильтрации жидкости вдоль оси ординат и полярного угла равны нулю в начале зоны сжатия, возрастают до максимума в одной точке, лежащей на линии центров, а в зоне восстановления деформации зависят от угла, определяющего положение точки, где жидкость меняет направление.

Ключевые слова: валковый отжим, мокрый материал, гидравлические задачи, фильтрация, скорость фильтрации.

Для цитирования: Хуррамов, Ш. Р. (2022). Скорости фильтрации в области отжима материалов. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0501–0512. <u>https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0312-0323</u>

Filtration rates in the area of squeezing materials

Sh. R. Khurramov

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

Abstract. Analytical dependencies are determined that describe the patterns of change in filtration rates in the squeezing area. It was established that the fluid filtration rate along the abscissa axis at the boundaries of the compression zone is zero, and inside the zone, it takes negative values. It was found that the fluid filtration rates along the ordinate axis and the polar angle are zero at the beginning of the compression zone, they increase to a maximum at a point lying on the line of centers, and in the zone of strain restoration, they depend on the angle that determines the position of the point where the fluid changes direction.

Keywords: roll pressing, wet material, hydraulic tasks, filtration, filtration rate.

For citation: Khurramov Sh. R. (2022). Filtration rates in the area of squeezing materials. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0501–0512. <u>https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0312-0323</u>



введение

В процессе валкового отжима мокрых материалов наблюдается одновременное происхождение двух явлений – контактное взаимодействие и фильтрация влаги. Это, в свою очередь, требует совместного решения при этом двух типов задач – контактных задач и гидравлических задач.

В работах [1-4] были решены основные контактные задачи валкового отжима мокрых материалов.

Основными гидравлическими задачами валкового отжима мокрых материалов являются задачи аналитического описания распределения гидравлического давления и математического моделирования остаточной влажности отжимаемого материала. Для решения этих задач необходимо знать закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима.

Анализ работ, посвященных исследованию гидравлических задач валкового отжима мокрых материалов [5-11], показал, что существующие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима получены с введением моделей валкового оборудования и материалов, не отвечающих реальным физическим явлениям валкового отжима мокрых материалов. Поэтому они не дают возможности по решению задач, позволяющих полностью раскрыть гидравлические явления валкового отжима мокрых материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе [12] были определены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима для симметричного двухвалкового модуля. В целях дальнейшего развития теоретических представлений, как и в работах [1-4], объектом исследования служит обобщенный двухвалковый модуль, в котором валки расположены относительно вертикали с наклоном справа под углом β , имеют неравные диаметры с эластичными покрытиями ($D_1 \neq D_2$), слой мокрого (обрабатываемого) материала имеет равномерную толщину δ_1 и подается наклоном вниз относительно линии центров под углом γ_1 (рисунок 1).



2022; 2(4) https://www.oajmist.com



Рисунок 1. Схема двухвалкового модуля.

Figure 1. Scheme of a two-roll module.

Кривая контакта нижнего валка (кривая A_1A_2) состоит из двух зон A_1A_3 и A_3A_2 . В зоне A_1A_3 происходит сжатие слоя мокрого материала и покрытия валка, а A_3A_2 -восстановление деформации.

Сначала рассмотрим процесс фильтрации жидкости в зоне A_1A_3 . В этой зоне обрабатываемый материал сжимается, поэтому жидкость переходит из нее в покрытие валка вдоль полярного угла [5].

Скорость мокрого материала в области контакта величина постоянная и равна v_m .

Скорость жидкости в области контакта величина переменная и равна сумме двух составляющих [12]:

$$\varepsilon_{11}v_{11xx} = \varepsilon_{11}v_m + u_{11x}, \quad \varepsilon_{11}v_{11xy} = u_{11y}, \tag{1}$$

где $v_{1\,\text{lax}}$, $v_{1\,\text{lay}}$ – абсолютная скорость жидкости в зоне A_1A_3 вдоль оси Ox и Oy, соответственно; v_{11x} , v_{11y} – относительная скорость жидкости в зоне A_1A_3 вдоль оси Oxи Oy, соответственно; u_{11x} , u_{11y} – скорость фильтрации жидкости в зоне A_1A_3 вдоль



оси Ox и Oy, соответственно; ε_{11} – относительная деформация мокрого материала в зоне A_1A_3 .

В процессе фильтрации для скоростей $v_{1\,l_{\text{HX}}}$ и $v_{1\,l_{\text{HX}}}$ должно выполняться уравнение неразрывности [12]:

$$\frac{\partial(\varepsilon_{11}v_m + u_{11x})}{\partial x_{11}} + \frac{\partial(u_{11y})}{\partial y_{11}} = 0.$$

Отсюда находим

$$v_m \frac{\partial \mathcal{E}_{11}}{\partial x_{11}} + \frac{\partial u_{11x}}{\partial x_{11}} + \frac{\partial u_{11y}}{\partial y_{11}} = 0.$$
⁽²⁾

 \odot

(cc)

Переходим к дифференцированию по одной переменной $\theta_{_{11}} + \gamma$:

$$v_m \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{d(\theta_{11} + \gamma)}{dx_{11}} + \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{d(\theta_{11} + \gamma)}{dx_{11}} + \frac{du_{11y}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{d(\theta_{11} + \gamma)}{dy_{11}} = 0.$$

После преобразования получим

$$\frac{du_{11y}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = -v_m \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}} - \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11}+\gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}} = 0.$$
(3)

Заметим, что

$$u_{11y} = u_{11x} ctg(\theta_{11} + \gamma) .$$
 (4)

Проведем дифференцирование

$$\frac{du_{11y}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11}+\gamma)} ctg(\theta_{11}+\gamma) - u_{11x}\frac{1}{\sin^2(\theta_{11}+\gamma)}.$$
(5)

Учитывая это, из равенства (3) получим

$$\frac{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}\cos(\theta_{11}+\gamma) + \frac{dy_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}\sin(\theta_{11}+\gamma)}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}\sin(\theta_{11}+\gamma)} - \frac{1}{\sin^2(\theta_{11}+\gamma)}u_{11x} = -v_m\frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}}.$$
 (6)

Из рисунка 1 следует, что

$$x_{11} = r_{11}\sin(\theta_{11} + \lambda), \quad y_{11} = r_{11}\cos(\theta_{11} + \gamma).$$

Отсюда находим

Современные инновации, системы и технологии // Modern Innovations, Systems and Technologies

$$\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = r_{11}'\sin(\theta_{11}+\gamma) + r_{11}\cos(\theta_{11}+\gamma), \quad \frac{dy_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = r_{11}'\cos(\theta_{11}+\gamma) - r_{11}\sin(\theta_{11}+\gamma).$$

Подставляя эти производные в равенства (6) и считая $r'_{11}\sin^2(\theta_{11}+\gamma) \approx 0$, после несложных преобразований находим

$$\frac{1}{\cos(\theta_{11}+\gamma)\sin(\theta_{11}+\gamma)} \cdot \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11}+\gamma)} - \frac{u_{11x}}{\sin^2(\theta_{11}+\gamma)} = v_m \frac{r_{11}'\cos(\theta_{11}+\gamma) - r_{11}\sin(\theta_{11}+\gamma)}{r_{11}'\sin(\theta_{11}+\gamma) + r_{11}\cos(\theta_{11}+\gamma)} \cdot \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}.$$
 (7)

Уравнение кривой контакта нижнего валка в зоне сжатия для рассматриваемого двухвалкового модуля имеет вид [2]:

$$r_{11} = \frac{R_1}{1 + k_{11}\lambda_{11}} \left(1 + k_{11}\lambda_{11} \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)} \right), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \le \theta_{11} + \gamma \le 0, \tag{8}$$

۲

(00)

где

$$k_{11} = \frac{m_{11}H_1\sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}{m_1^*\delta_1\sin(\varphi_{21} - \gamma_1)}, \quad \lambda_{11} = \frac{A_{11}^*m_{11}^*(\Delta l_{11})_{cp} - (A_{11}(1 - m_{11}) - A_{11}^*(1 - m_{11}^*))h_{11}^0}{A_{11}m_{11}(\Delta l_{11})_{cp} + (A_{11}(1 - m_{11}) - A_{11}^*(1 - m_{11}^*))H_1};$$
$$h_{11}^0 = \delta_1 \frac{\sin(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}; \quad (\Delta l_{11})_{cp} = R_1 \cdot \left(1 - \frac{\sin 2(\varphi_{11} + \gamma_1)}{2(\varphi_{11} + \gamma_1)}\right),$$

здесь m_{11} – коэффициент упрочнения точек эластичного покрытия нижнего валка при сжатии, m_1^* – коэффициент упрочнения точек волокнистого материла при сжатии.

Откуда

$$r_{11}' == \frac{k_{11}\lambda_{11}R_1}{1+k_{11}\lambda_{11}} \cdot \frac{\cos(\varphi_{11}+\gamma_1)}{\cos\varphi(\theta_{11}+\gamma)} tg(\theta_{11}+\gamma).$$
(9)

Используя выражение (8) и (9), имеем

$$r_{11}'\sin(\theta_{11}+\gamma) + r_{11}\cos(\theta_{11}+\gamma) = \frac{R_1}{1+k_{11}\lambda_{11}} \frac{k_{11}\lambda_{11}\cos(\varphi_{11}+\gamma_1) + \cos^3(\theta_{11}+\gamma)}{\cos^2(\theta_{11}+\gamma)},$$

$$r_{11}'\cos(\theta_{11}+\gamma) - r_{11}\sin(\theta_{11}+\gamma) = -\frac{R_1}{1+k_{11}\lambda_{11}}\sin(\theta_{11}+\gamma).$$
(10)

После подстановки этих выражений и некоторых преобразований уравнение (7) принимает вид

$$\frac{1}{\cos(\theta_{11}+\gamma)\sin(\theta_{11}+\gamma)} \cdot \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11}+\gamma)} - \frac{u_{11x}}{\sin^2(\theta_{11}+\gamma)} = -v_m \frac{\sin(\theta_{11}+\gamma)\cos^2(\theta_{11}+\gamma)}{(k_{11}\lambda_{11}\cos(\varphi_{11}+\gamma_1)+\cos^3(\theta_{11}+\gamma))} \cdot \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}.$$
 (11)

Из рисунка 1 следует, что



2022; 2(4) https://www.oajmist.com

$$\varepsilon_{11}^{*} = \frac{r_{11} - R_1 \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)}}{h_{11}^0} .$$
(12)

Откуда

$$\frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = -\frac{R_1 \cos(\varphi_{11}+\gamma_1)\sin(\theta_{11}+\gamma)}{h_{11}^0(1+k_{11}\lambda_{11})\cos^2(\theta_{11}+\gamma)}.$$
(13)

Подставим это выражение в равенство (11):

$$\frac{du_{11x}}{d(\theta_{11}+\gamma)} - \frac{\cos(\theta_{11}+\gamma)}{\sin(\theta_{11}+\gamma)}u_{11x} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{11}+\gamma_1)}{h_{11}^0(1+k_{11}\lambda_{11})} \cdot \frac{\sin^3(\theta_{11}+\gamma)\cos(\theta_{11}+\gamma)}{(k_{11}\lambda_{11}\cos(\varphi_{11}+\gamma_1)+\cos^3(\theta_{11}+\gamma))}.$$
 (14)

Дифференциальное уравнение (14) является линейным. Его однородная часть имеет решение

$$u_{11x} = C_{11}(\theta_{11} + \gamma)\sin(\theta_{11} + \gamma), \qquad (15)$$

откуда

$$\frac{du_{11x}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = \frac{dC_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)}\sin(\theta_{11}+\gamma) + C_{11}\cos(\theta_{11}+\gamma).$$

Подставив $\frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)}$ и u_{11x} в уравнение (14), имеем

$$\frac{dC_{11x}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{11}+\gamma_1)}{h_{11}^0 (1+k_{11}\lambda_{11})} \cdot \frac{\sin^2(\theta_{11}+\gamma)\cos(\theta_{11}+\gamma)}{(k_{11}\lambda_{11}\cos(\varphi_{11}+\gamma_1)+\cos^3(\theta_{11}+\gamma))}.$$
 (16)

Введем допущения $\sin(\theta_{11} + \gamma) \approx \theta_{11} + \gamma$, $\cos(\theta_{11} + \gamma) \approx 1 - \frac{(\theta_{11} + \gamma)^2}{2}$.

После этого равенство (16) принимает вид

$$\frac{dC_{11}}{d(\theta_{11}+\gamma)} = a_{11} \frac{(\theta_{11}+\gamma)^2}{m_{11}^2 - (\theta_{11}+\gamma)^2},$$
(17)

где

$$a_{11} = \frac{2v_m R_1 \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{3h_{11}^0 (1 + k_{11}\lambda_{11})}, \quad m_{11}^2 = \frac{2}{3} (1 + k_{11}\lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)).$$
(18)

Интегрируем равенство (21)

$$C_{11} = a_{11} \left(-(\theta_{11} + \varphi) + \frac{m_{11}}{2} \ln \left| \frac{m_{11} + (\theta_{11} + \gamma)}{m_{11} - (\theta_{11} + \gamma)} \right| \right) + C_{11}^*.$$

Раскладывая логарифмическую функцию в ряд и ограничиваясь членами до третьей степени относительно $(\theta_{11} + \gamma)$, имеем $C_{11} = \frac{a_{11}}{3m_{11}^2} (\theta_{11} + \gamma)^3 + C_{11}^*$.

Подставим это выражение в уравнение (15):

$$u_{11x} = \left(\frac{a_{11}}{3m_{11}^2}(\theta_{11}+\gamma)^3 + C_{11}^*\right)\sin(\theta_{11}+\gamma).$$

После определения C_{11}^* по начальному условию $u_{11x}(-(\varphi_{11}+\gamma_1))=0$, имеем

$$u_{11x} = b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3)\sin(\theta_{11} + \gamma), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \le \theta_{11} + \gamma \le 0,$$
(19)

Θ

(cc)

где $b_{11} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{3h_{11}^0 (1 + k_{11}\lambda_{11})(1 + k_{11}\lambda_{11}\cos(\varphi_{11} + \gamma_1))}.$

Из равенства (6) с учетом равенства (19) находим

$$u_{11y} = -b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3)\cos(\theta_{11} + \gamma), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \le \theta_{11} + \gamma \le 0,$$
(20)

При известных значениях слагаемых u_{11x} и u_{11y} , скорость фильтрации жидкости вдоль полярного угла определяется по формуле $u_{11r} = \sqrt{u_{11x}^2 + u_{11y}^2}$.

Тогда имеем

$$u_{11\theta} = -b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \le \theta_{11} + \gamma \le 0.$$
(21)

Знак (-) в формулах (20) и (21) означает, что жидкость переходит из волокнистого материала вниз в покрытие нижнего валка.

Формула (21) определяет изменение скорости фильтрации жидкости, протекшей из мокрого материала в покрытия нижнего валка в зоне сжатия.

В зоне A_3A_2 обрабатываемый материал, восстанавливая деформацию, может впитывать жидкость из покрытия валка. В этом случае, жидкость, слева от некоторой точки A_4 зоны A_3A_2 , движется из мокрого материала в покрытие валка, справа – в обрабатываемый материал. В зависимости от конструкции валка отжимной машины и его покрытия, точка A_4 может совпадать с любой точкой зоны восстановления деформации [5-7].

Пусть точка A_4 определяется углом $\varphi_{14} + \gamma_4 = \zeta_1(\varphi_{12} + \gamma_2), \ 0 < \zeta_1 \le 1$. Точка A_4 делит зоны восстановления деформации на два участка: первый A_3A_4 , где $0 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{14} + \gamma_4$ и второй A_4A_2 , где $\varphi_{14} + \gamma_4 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{12} + \gamma_2$. В точке A_4 скорости фильтрации равны нулю, то есть $u_{12x}(\varphi_{14} + \gamma_4) = 0$ и $u_{12y}(\varphi_{14} + \gamma_4) = 0$.

Аналогично формулам (19) - (21) определяем изменения скоростей фильтрации жидкости, протекшей из мокрого материала в покрытия нижнего валка на первом участке A_3A_4 зоны восстановления деформации.



Выражения имеют вид:

$$u_{12x} = b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3)\sin(\theta_{12} + \gamma), \quad 0 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{14} + \gamma_4,$$
(22)

(cc)

$$u_{12y} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3)\cos(\theta_{12} + \gamma), \quad 0 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{14} + \gamma_4,$$
(23)

$$u_{12\theta} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), \quad 0 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{14} + \gamma_4, \tag{24}$$

где $b_{12} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{12} + \gamma_2)}{3h_{12}^0 (1 + k_{12}\lambda_{12})(1 + k\lambda_{12}\cos(\varphi_{12} + \gamma_2))}.$

Авторы работ [8, 9], считают, что на втором участке A_4A_2 зоны восстановления деформации скорость фильтрации вдоль оси Ox равна нулю, то есть $u_{12x}(\theta_{12} + \gamma) = 0$, где $\varphi_{14} + \gamma_4 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{12} + \gamma_2$. В этом случае, из равенства, соответствующего (3) следует, что

$$\frac{du_{12y}}{d(\theta_{12}+\gamma)} = -v_m \frac{d\varepsilon_{12}}{d(\theta_{12}+\gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{12}}{d(\theta_{12}+\gamma)}}{\frac{dx_{12}}{d(\theta_{12}+\gamma)}}$$

или с учетом аналогичных выражений (9) и (17)

$$\frac{du_{12y}}{d(\theta_{12}+\gamma)} = -\frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{12}+\gamma_2)}{h_{12}^0 (1+k_{12}\lambda_{12})} \cdot \frac{\sin^2(\theta_{12}+\gamma)}{(k_{12}\lambda_{12}\cos(\varphi_{12}+\gamma_2)+\cos^3(\theta_{12}+\gamma))}$$

Преобразуем с учетом аналогичного выражения (18)

$$\frac{du_{12y}}{d(\theta_{12} + \gamma)} = a_{12} \frac{(\theta_{12} + \gamma)^2}{m_{12}^2 - (\theta_{12} + \gamma)}.$$
(25)

Решение этого уравнения будет $u_{12y} = \left(\frac{a_{12}}{3m_{12}^2}(\theta_{12}+\gamma)^3 + C_{13}^*\right).$

По условию $u_{12y}(\varphi_{14}+\gamma_4)=0$ определяем, $C_{13}^*=-\frac{a_{12}}{3m_{12}^2}(\varphi_{14}+\gamma_4)^3$.

После этого получаем

$$u_{12y} = b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), \quad \varphi_{14} + \gamma_4 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{12} + \gamma_2.$$
(26)

Отсюда, имеем

$$u_{12\theta} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), \quad \varphi_{14} + \gamma_4 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{12} + \gamma_2.$$
(27)

Обобщая формулы (21), (24) и (27), получаем

$$\begin{cases} u_{11\theta} = -b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3), \ -(\varphi_{11} + \gamma_1) \le \theta_{11} + \gamma \le 0, \\ u_{12\theta} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), \ 0 \le \theta_{12} + \gamma \le \varphi_{12} + \gamma_2, \end{cases}$$
(28)



где $\varphi_{14} + \gamma_4 = \zeta_1(\varphi_{12} + \gamma_2), \ 0 < \zeta_1 \le 1.$

Скорости фильтрации жидкости, протекшей через кривую контакта верхнего валка, определяем аналогично.

Они имеют вид:

$$\begin{cases} u_{21\theta} = b_{21}((\varphi_{21} - \gamma_1)^3 + (\theta_{21} - \gamma)^3), \ -(\varphi_{21} - \gamma_1) \le \theta_{21} - \gamma \le 0, \\ u_{22\theta} = b_{22}((\varphi_{24} - \gamma_4)^3 - (\theta_{22} - \gamma)^3), \ 0 \le \theta_{22} - \gamma \le \varphi_{22} - \gamma_2, \end{cases}$$
(29)

 \odot

(cc

где

$$\varphi_{24} - \gamma_4 = \varsigma_2(\varphi_{22} - \gamma_2), \ 0 < \varsigma_2 \le 1, \qquad b_{21} = \frac{v_m R_2 \cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{3h_{21}^0 (1 + k_{21}\lambda_{21})(1 + k_{21}\lambda_{21}\cos(\varphi_{21} - \gamma_1))},$$

$$b_{22} = \frac{v_m R_2 \cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{3h_{22}^0 (1 + k_{22}\lambda_{22})(1 + k_{22}\lambda_{22}\cos(\varphi_{22} - \gamma_2))}.$$

На рисунках 2 и 3 приведены графики изменения скоростей фильтрации, интерпретирующие формулы (11) и (12).





Figure 2. Graph of the change in speed

filtration u_{x} :

 $1 - \zeta = 0,33; \ 2 - \zeta = 0,67; \ 3 - \zeta = 1.$



Рисунок 3. График изменения скорости фильтрации u_{θ} нижнего валка: $1-\varsigma = 0.33; \ 2-\varsigma = 0.67; \ 3-\varsigma = 1.$

Figure 3. Graph of the change in speed bottom roll filtration: $1-\varsigma = 0.33; \ 2-\varsigma = 0.67; \ 3-\varsigma = 1.$

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Определены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима.

2. Установлено, что скорость фильтрации жидкости вдоль оси абсцисс на границах зоны сжатия равна нулю, а внутри зоны принимает отрицательные значения.

3. Выявлено, что скорости фильтрации жидкости вдоль оси ординат и полярного угла равны нулю в начале зоны сжатия, возрастают до максимума в особой точке, лежащей на линии центров, а в зоне восстановления деформации зависят от угла, определяющего положение точки, где жидкость меняет направление.

(cc)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Из анализа расчетных данных и графиков (рисунки 2 и 3) следует:

скорость фильтрации жидкости вдоль оси Ох на границах зоны сжатия равна нулю, а внутри зоны принимает отрицательные значения. Она имеет минимум в точке, определяемой углом $\varphi = 0.63\varphi_1 (\varphi_1 - \text{угол захвата валка});$

закономерности изменения скоростей фильтрации вдоль осей Ох, Оу и угла θ в зоне восстановления зависят от числа ζ_i , определяющего положение точки, где жидкость меняет направление. Чем ближе ζ_i к нулю, тем длиннее часть зоны восстановления деформации, где жидкость перемещается из покрытия валка обратно в мокрый материал. По мере увеличения числа ζ_i от нуля до единицы, протяженность изменения скорости фильтрации вдоль оси Ox увеличивается. При $\zeta_i = 1$, скорость фильтрации u_r внутри зоны восстановления положительна, имеет максимум в точке, определяемой углом $\varphi = 0.63\varphi_2$ (φ_2 – угол выхода). При этом она в начале и конце зоны восстановления деформации равна нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Khurramov Sh. R. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012004.

[2] Khurramov Sh. R. On the issues modeling the roll contact curves. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042036.

[3] Khurramov Sh. R., Abdukarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction forces in an asymmetric two-roll module. IOP Conf. Series. 2020; 916: 012051.

[4] Khurramov Sh. R., Abdukarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008. [5] Коновалов А.Б. Имитационные моделирование рабочего процесса в прессах продольной фильтрацией. Технико-технологические проблемы сервиса. 2012; 2(20): 40-47.

 \odot

(cc)

[6] Новиков Н. Е. Прессование бумажного полотно. Москва. Лесная промышленность; 1992. 242.

[7] Bezanovic D., Duin C. J., Kaasschieter E.F. Analysis of wet pressing of paper: The three phase model, Part II: Compressible air case. Transport in Porous Media. 2007; 67: 171-187.

[8] Кузнецов В.А., Петров Н.А., Кортовенко В.М. Физическая модель процесса отжима ткани. Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1984; 3: 102-105.

[9] Паршуков В.Е., Маринин А.Н., Константинова Е.Р., Петрова И.В., Фомин Ю.Г. Влияние технологических факторов на степень отжима влаги из ткани. Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2011; 4 (333): 124-127.

[10] McDonald D.J., Kerekes R. J., Zhao R.J. Perspectives on deriving mathematical models in pulp and paper science. J BioResources. 2020; 15: 7319-7329.

[11] Iliev O., Printsypar G., Rief S. On mathematical modeling and simulation of the pressing section of a paper machine including dynamic capillary effects: One-dimensional model. Transport in Porous Media. 2012; 92: 41-59.

[12] Khurramov Sh. R. Filtration rates in roller pressing of fibrous materials. AIP Conference Proceedings. 2021; 2402: 030042.

REFERENCES

[1] Khurramov Sh. R. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012004.

[2] Khurramov Sh. R. On the issues modeling the roll contact curves. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042036.

[3] Khurramov Sh. R., Abdukarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction forces in an asymmetric two-roll module. IOP Conf. Series. 2020; 916: 012051.

[4] Khurramov Sh. R., Abdukarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008.

[5] Konovalov A.B. Imitacionnye modelirovanie rabochego processa v pressah prodol'noj fil'traciej. Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2012; 2(20): 40-47.

[6] Novikov N. E. Pressovanie bumazhnogo polotno. Moskva. Lesnaya promyshlennost'; 1992.242.

Θ

(cc)

[7] Bezanovic D., Duin C. J., Kaasschieter E.F. Analysis of wet pressing of paper: The three phase model, Part II: Compressible air case. Transport in Porous Media. 2007; 67: 171-187.

[8] Kuznecov V.A., Petrov N.A., Kortovenko V.M. Fizicheskaya model' processa otzhima tkani. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 1984; 3: 102-105.

[9] Parshukov V.E., Marinin A.N., Konstantinova E.R., Petrova I.V., Fomin YU.G. Vliyanie tekhnologicheskih faktorov na stepen' otzhima vlagi iz tkani. Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2011; 4 (333): 124-127.

[10] McDonald D.J., Kerekes R. J., Zhao R.J. Perspectives on deriving mathematical models in pulp and paper science. J BioResources. 2020; 15: 7319-7329.

[11] Iliev O., Printsypar G., Rief S. On mathematical modeling and simulation of the pressing section of a paper machine including dynamic capillary effects: One-dimensional model. Transport in Porous Media. 2012; 92: 41-59.

[12] Khurramov Sh. R. Filtration rates in roller pressing of fibrous materials. AIP Conference Proceedings. 2021; 2402: 030042.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Хуррамов Шавкат Рахматуллаевич, доктор технических наук, профессор, Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Республика Узбекистан e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru **Shavkat R. Khurramov,** Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.10.2022; одобрена после рецензирования 05.11.2022; принята к публикации 07.11.2022. The article was submitted 06.10.2022; approved after reviewing 05.10.2022; accepted for publication 07.11.2022