

УДК: 677.057
DOI: [10.47813/2782-2818-2022-2-2-0143-0161](https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0143-0161)

EDN: CBAWQE



Оптимизация параметров процесса валкового отжима КОЖИ

К.К. Тургунов, Н.У. Аннаев, К.Ю. Алибоев

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Работа посвящена оптимизации параметров процесса валкового отжима кожи. Найденные регрессионные и эмпирические модели остаточной влажности кожи и мощности процесса отжима в зависимости от интенсивности нагрузки, радиуса и скорости валков. Разработана методика расчета оптимальных параметров валкового отжима кожи с учетом удельного давления, что позволяет научно-обоснованно формировать параметры валкового отжима кожи. Выявлено, что лучший эффект интенсивности нагрузки наблюдается в отжимных машинах с маленькими скоростями и диаметрами.

Ключевые слова: валковый отжим кожи, остаточная влажность кожи, мощность процесса отжима, удельное давление, скорость валков, радиус валков.

Для цитирования: Тургунов, К., Аннаев, Н., & Алибоев, К. (2022). Оптимизация параметров процесса валкового отжима кожи. *Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies*, 2(2), 0129–0147. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0143-0161>

Parameters optimization of roller squeezing process of leather

K.K. Turgunov, N.U. Annaev, K.Yu. Aliboev

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

Abstract. The work is devoted to the optimization of the parameters of the roller squeezing of leather. Regression and empirical models of the residual moisture content of leather and the force of the squeezing process are determined depending on the intensity of the load, the radius and the speed of the rollers. The methods to calculate the optimal parameters of roller pressing of semi-finished leather products, taking into account the specific pressure, were developed; these methods make it possible to scientifically formulate the parameters of roller squeezing of leather. The patterns were established that allow for increasing the efficiency of leather squeezing by rollers. It was determined that the best effect of load intensity is observed in squeezing machines with low velocities and small diameters.

Keywords: roller squeezing of leather, residual moisture content of leather, force of squeezing process, specific pressure, roll speed, roll radius.

For citation: Turgunov, K.K., Annaev, N.U. & Aliboev, K.Yu. (2022). Parameters optimization of roller squeezing process of leather. *Modern Innovations, Systems and Technologies*, 2(2), 0129–0147. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0143-0161>

ВВЕДЕНИЕ

Технологические машины, наряду с функциональным совершенствованием должны быть экономичны как в производстве, так и в эксплуатации. Не все машины кожевенного производства полностью соответствуют данному требованию, в том числе и машины для отжима кожевенного полуфабриката (кожи). Это в большой мере объясняется отсутствием методики, позволяющей производить оптимизацию и расчет параметров рабочих органов машины и давать рекомендации для проектирования валковых машин для отжима кожи.

В связи с отсутствием такой методики параметры валковых машин для отжима кожи произвольно выбираются конструкторами, которые руководствуются в основном прочностным расчетом и собственным опытом.

Неполное знание связи конструктивных параметров с технологическими становится причиной создания машин либо с необоснованно завышенными показателями, не используемыми в данном процессе, либо с заниженными, что приводит к невыполнению технологического режима. Такие машины являются экономически невыгодными.

В процессе валкового отжима мокрых материалов, в том числе кожи, наблюдается одновременное происхождение двух явлений – контактное взаимодействия и фильтрация влаги. В соответствии с этими двумя явлениями, теория валкового отжима мокрых материалов также представляет собой совместное решения двух типа задач: первый – контактное взаимодействие в двухвалковых модулях (контактные задачи); второй – фильтрация влаги в деформируемой неоднородной пористой среде (гидравлические задачи).

Исследованию контактных задач теории валкового отжима мокрых материалов, посвящены работы [1-5]. В них решены такие контактные задачи, как моделирование формы кривых контакта валков, моделирование напряжений трения в валковых парах, аналитическое описание закономерностей распределения контактных напряжений.

Основными гидравлическими задачами теории валкового отжима мокрых

материалов являются следующие: аналитическое описание закономерности распределения гидравлического давления и моделирование остаточной влажности отжимаемого материала [6]. Исследованию гидравлических задач теории валкового отжима мокрых материалов посвящены работы [6-9].

В работе [7] получена аналитическая зависимость остаточной влажности кожи от параметров валкового отжима кожи. Однако в этих моделях многие параметры входят в неявном виде, например, толщина кожи – в углах контакта, что приводит к некоторым неопределенностям в выявленных зависимостях. Поэтому для установления конкретных зависимостей между параметрами и остаточной влажностью кожевенного полуфабриката необходимы экспериментальные исследования.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию влияния параметров кожевенных отжимных машин на остаточную влажность кожи. Целью работы является получение зависимости остаточной влажности от основных параметров, которую можно применять для выбора оптимальных технологических и конструктивных параметров кожевенных отжимных машин.

Выбор оптимальных параметров кожевенных отжимных машин зависит от постановки экстремальной задачи. В работе дана постановка экстремальной задачи по определению диаметра валков, обеспечивающих минимальный прогиб их рабочей части, величину остаточной влажности, требуемой от процесса отжима, и наименьшую мощность, необходимую для проведения процесса отжима. Для решения такой задачи необходимы регрессионные зависимости остаточной влажности кожи и мощности процесса отжима от основных параметров отжимных машин.

МЕТОДЫ

Эксперименты проводились на установке (рис. 1), состоящей из следующих основных узлов: станины, рабочих валков, пружинно-винтовой системы и привода. Конструкция установки позволяет замену валка, изменение скорости валков и усилия их прижима.

Предусмотрены комплекты валков с диаметрами 0.100; 0.210 и 0.320 м. (после намотки сукна радиусы их соответственно равнялись 0.058; 0.114 и 0.170 м.), необходимые усилия прижима осуществлялись пружинно-винтовой системой, скорости валков регулировались реостатом, длина валков во всех случаях составляла 0.12 м.

Исследованию подвергались кожевенные полуфабрикаты крупного рогатого скота после хромового дубления (кожи). Образцы вырезали из кожи шириной 0.06 м. и требуемой длины в зависимости от вида опытов и укомплектовали их в группы.

Потребляемая мощность определяли по формуле $N = \omega M$. При этом крутящий момент M измеряли методом тензометрирования.

Экспериментальные исследования проводили методом Д оптимального планирования второго порядка с использованием матрицы планирования К. Кано для трехфакторного эксперимента [10].

В результате исследований в области зоны контакта валков [1,3] и опыта эксплуатации кожевенных отжимных машин установлено, что основными параметрами, влияющими на остаточную влажность кожи, являются интенсивность нагрузки, диаметры валков и скорости валков.

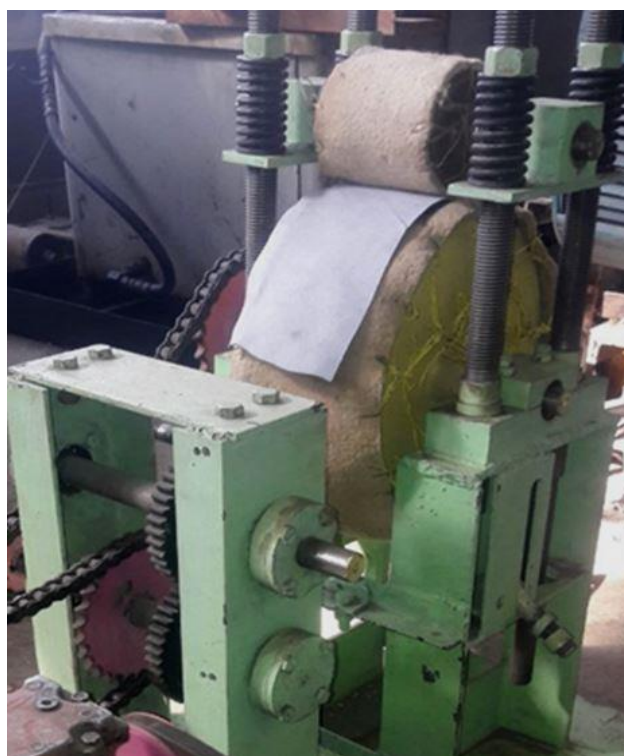


Рисунок 1. Экспериментальная установка

Поэтому функциями отклика приняли остаточную влажность $W_{\text{ост}}$ и мощность N , а факторами интенсивности нагрузки Q радиусы валка R и скорости валка V .

Рабочую матрицу составили по матрице планов К. Кано для трехфакторного эксперимента.

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов.

Фактор	Уровень варьирования			Интервал вариации
	-	0	+	
$Q(x_1), \text{ кН/м}$	15	40	65	25
$R(x_2), \text{ м}$	0,058	0,114	0,170	0,056
$V(x_3), \text{ м/с}$	0,10	0,22	0,34	0,12

После реализации рабочей матрицы получено среднее арифметическое значение $\bar{W}_{\text{ост}}$ и $\bar{N}$ (таблица 2).

Таблица 2. Средние арифметические значения.

Рабочая матрица			Остаточная влажность, %		Мощность, Вт	
Q	R	V	$\bar{W}_{\text{ост}}$	$\hat{W}_{\text{ост}}$	$\bar{N}$	$\hat{N}$
40	0,114	0,22	56,83	58,03	65,8	63,4
65	0,170	0,34	57,74	59,23	126,6	124,3
65	0,058	0,34	55,12	54,01	119,0	118,5
15	0,058	0,34	59,44	59,58	99,7	98,3
15	0,170	0,34	61,09	60,57	104,4	104,1
65	0,170	0,10	51,27	50,86	35,2	35,4
65	0,058	0,10	42,42	45,64	34,1	33,8
15	0,058	0,10	57,37	58,03	24,8	24,5
15	0,170	0,10	59,14	59,02	26,7	26,1
65	0,114	0,34	56,08	56,62	112,4	115,2
40	0,058	0,34	58,63	57,51	107,9	108,4
15	0,114	0,34	59,80	60,08	92,2	95,0
65	0,058	0,22	52,83	51,27	73,6	75,1
15	0,058	0,22	60,60	60,25	59,2	60,2
15	0,170	0,22	60,17	61,24	63,2	64,1
65	0,170	0,22	57,42	56,49	77,8	78,8
40	0,170	0,34	59,26	60,62	113,8	114,2
65	0,114	0,10	51,03	48,25	29,9	28,4

40	0,058	0,10	53,50	52,55	27,4	29,1
15	0,114	0,10	58,80	58,52	18,8	19,1
40	0,170	0,10	56,69	55,56	29,2	30,8

Функция цели аппроксимированы полиномом

$$y_0 = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2,$$

где b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – коэффициенты регрессии.

Однородность дисперсий оценена критерием Фишера [10] при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{S_{\text{min}}^2},$$

$$W_{\text{ост}} : S_{\text{max}}^2 = 18.485; \quad f_{17} = 5; \quad S_{\text{min}}^2 = 3.125; \quad f_6 = 4; \quad f_{\text{расч}} = 5.92;$$

$$N : S_{\text{max}}^2 = 24.38; \quad f_{10} = 5; \quad S_{\text{min}}^2 = 4.16; \quad f_{12} = 4; \quad f_{\text{расч}} = 5.86.$$

Табличные значения критерия Фишера при $f_{\text{max}} = 5$ и $f_{\text{min}} = 4$ равны $f_{\text{табл}} = 6.26$ [10]. Таким образом, все дисперсии для W и N при $\alpha = 0.95$ можно считать однородным, так как $f_{\text{расч}} < f_{\text{табл}}$.

Гипотезу об адекватности найденных уравнений проверили с помощью критерия Фишера [10] при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\{y\}}^2}, \quad S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N n(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - \frac{(k+1)(k+2)}{2}}; \quad S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2 f_i}{\sum_{i=1}^N S_i},$$

$$\hat{W}_{\text{ост}} : S_{\text{ад}}^2 = 16,577; \quad S_{\{y\}}^2 = 11,434; \quad F_{\text{расч}} = 1,45; \quad f_{\text{ад}} = 11; \quad f_{\{y\}} = 91;$$

$$\hat{N} : S_{\text{ад}}^2 = 19,22; \quad S_{\{y\}}^2 = 10,832; \quad F_{\text{расч}} = 1,77; \quad f_{\text{ад}} = 11; \quad f_{\{y\}} = 80;$$

Табличные значения критерия Фишера при $f_{\text{max}} = 90$ и $f_{\text{min}} = 91$ и $f_{\text{min}} = 11$ равны $F_{\text{табл}} = 1,85$ [10]. Таким образом, уравнения (2) и (3) можно считать пригодными с 95% -ной доверительной вероятностью ($F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$).

Значимость коэффициентов найденных уравнений проверена по формулам

$$\Delta b_0 = \pm 2S_{\{b_0\}} = \pm 2\sqrt{\frac{S_{\{y\}}^2}{21}}, \quad \Delta b_i = \pm 2S_{\{b_i\}} = \pm 2\sqrt{\frac{S_{\{y\}}^2}{16}},$$

$$\Delta b_{ii} = \pm 2S_{\{bii\}} = \pm 2\sqrt{\frac{S_{\{y\}}^2}{21}}, \quad \Delta b_{ij} = \pm 2S_{\{bij\}} = \pm 2\sqrt{\frac{S_{\{y\}}^2}{212}},$$

где $S_{\{y\}}^2 = \frac{S_{\{y\}}^2}{n}$.

Исключив незначимые коэффициенты, имеем

$$\begin{aligned} \hat{W}_{\text{ост}} = & 58.03 - 0.718x_1^2 - 1.442x_3^2 + 1.058x_1x_2 + \\ & + 1.705x_1x_3 - 3.431x_1 + 1.553x_2 + 2.481x_3, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \hat{N} = & 63.4 + 6.176x_2^2 + 1.051x_3^2 + 2.716x_1x_3 + \\ & + 1.035x_2x_3 + 7.377x_1 + 1.859x_2 + 40.68x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

После подстановки в уравнения (1) и (2) получим

$$\begin{aligned} W_{\text{ост}} = & 57.57 - 0.0011Q^2 - 100.4V^2 + 0.754QR + \\ & + 0.568QV - 0.256Q + 25R + 42V, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} N = & 14.19 + 1959.4R^2 + 73V^2 + 0.905QV + \\ & + 154.02RV + 0.96Q + 449.7R + 253.11V. \end{aligned} \quad (4)$$

Будем решать компромиссную задачу - задачу по определению диаметра валков, обеспечивающих минимальный прогиб их рабочей части, величину остаточной влажности, требуемой от процесса отжима и наименьшую мощность, необходимую для проведения процесса отжима.

Диаметра валков будем учитывать условия минимального прогиба их рабочей части $D \geq 0.1B$ [11] или:

$$x_2 \geq \frac{0.05B + \lambda - 0.114}{0.056}, \quad (5)$$

где λ – толщина эластичного покрытия валка.

Экстремальную задачу решаем по следующей расчетной схеме:

- 1) меняем x_3 с шагом 0.0625, в пределах $-1 \div 1$;
- 2) меняем x_1 с шагом 0.05, в пределах $-1 \div 1$;
- 3) для каждого сочетания x_1 и x_3 при принятых значениях $W_{\text{ост}}$ ($W_{\text{ост}} = 58.59, 60 \%$) по выражению (3) вычисляем x_2 ;

Если при значениях $B = 1.8, 2.5, 3.2 \text{ m}$ и $\lambda = 0.016 \text{ m}$ фактор x_2 удовлетворяет условию (5), то по выражению (4) вычисляем N ;

На рис. 2 - 4 приведены графические интерпретации зависимости (3) и (4).

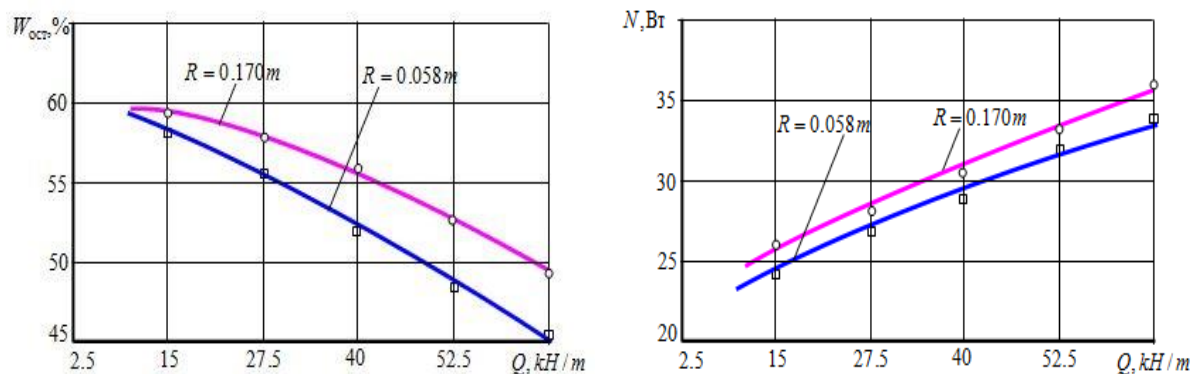


Рисунок 2. Зависимость изменения остаточной влажности и мощности от интенсивности нагрузки $Q, кН/м$ при $V = 0,10 м/с$.

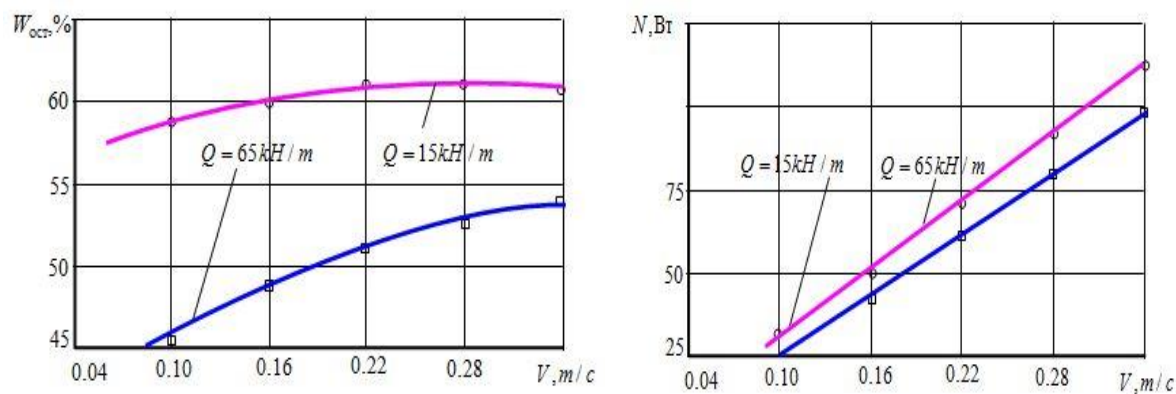


Рисунок 3. Зависимость изменения остаточной влажности и мощности от скорости валков $V, м/с$ при $R = 0.058 m$

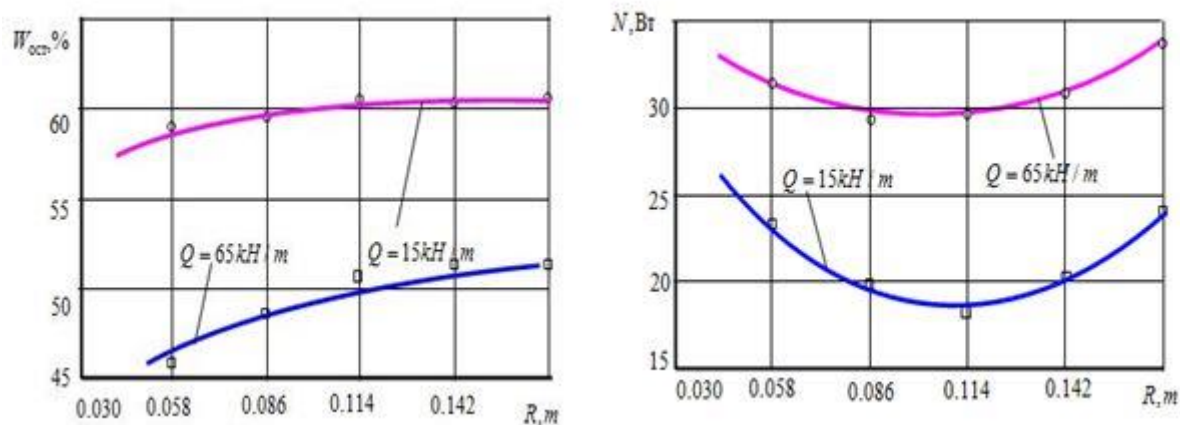


Рисунок 4. Зависимость изменения остаточной влажности и мощности от радиусов валков $R, м$ при $V = 0.10 м/с$.

4) для различных значений x_3 вычисляем следующие массивы значений N :

при значениях $W_{\text{ост}} = 58$, $B = 1.8$ и $x_3 = -1$;

при значениях $W_{\text{ост}} = 58$, $B = 1.8$ и $x_3 = -0.9375$;

... ..

при значениях $W_{\text{ост}} = 58$, $B = 1.8$ и $x_3 = 1$;

при значениях $W_{\text{ост}} = 59$, $B = 1.8$ и $x_3 = -0.9375$;

... ..

при значениях $W_{\text{ост}} = 60$, $B = 1.8$ и $x_3 = 1$;

5) из каждого массива выбираем минимальное значение N_0 ;

6) факторы x_1 , x_2 , x_3 , обеспечивающие при значении $N_0 = N_{\min}$ получение заданных значений $W_{\text{ост}}$ и B , раскодируем натуральное Q , R , V ;

7) выводим на печать $W_{\text{ост}}$, B , N , Q , R , V .

В результате решения экстремальной задачи выявлено, что при значениях $B = 1.8$ м, $V = 0.16 \div 0.22$ м/с для осуществления отжима до влажности $W_{\text{ост}} = 58 \div 60$ %, наименьшая мощность достигается при $R = 0.101 \div 0.111$ м.

Валковые отжимные машины, применяемые в кожевенной промышленности, снабжены транспортирующими механизмами для подачи кожи в рабочую зону отжимных валков.

Скорость транспортирующего механизма определяется, исходя из возможностей рабочего во время подачи и выправления складки на коже на транспортирующем механизме. Учитывая это, а также влияние скорости валков на производительность и энергосиловые затраты машины, в качестве рациональной скорости валков принимаем $B = 1.8$ м – $V = 0.190$ м/с.

Таким образом, получена регрессионная модель остаточной влажности в зависимости от интенсивности нагрузки, радиуса валка и скорости валка. Однако как свидетельствуют авторы работ [6, 11], остаточная влажность при валковом отжиме определяется не линейным давлением (интенсивности нагрузки), а удельным давлением, которое определяется как отношение линейного давления к длине кривой контакта валка. Поэтому для определения остаточной влажности кожи нужна также зависимость длины кривой контакта валка от основных параметров валкового отжима кожи.

В связи с этим проведены дополнительные исследования по изучению и разработке экспериментальной модели длины кривой контакта валка.

Для измерения кривой контакта валка подготовлена тонкая и узкая лента, пропитанная цветным жидким агентом (рис. 1). Лента прикреплена к лицевой стороне образца кожи. При пропуске образца с лентой через жало, от верхнего валка на сукне образуется цветной отпечаток (след), путем измерения которого определяется длина кривой контакта валка.

При проектировании отжимных машин для инженерных расчетов требуются простые зависимости по сравнению с регрессионными. Исходя из этого, поставлена задача получить модель длины кривой контакта валка, как эмпирической функции основных параметров валкового отжима кожи.

Рабочую матрицу составили по матрице планов К. Кано для трехфакторного эксперимента (таблица 1).

После реализации рабочей матрицы получены значения остаточной влажности L_0 (таблица 3).

Таблица 3. Значения остаточной влажности.

Рабочая матрица			Длина кривой контакта валка		ε_i^2
Q_1	R_1	V_1	L	$\bar{L}$	
1,000	1,000	1,000	0,0502	0,0460	0,0070
1,625	1,491	1,546	0,0676	0,0704	0,0017
1,625	0,509	1,546	0,0326	0,0373	0,0208
0,375	0,509	1,546	0,0179	0,0197	0,0104
0,375	1,491	1,546	0,0431	0,0437	0,0002
1,625	1,491	0,454	0,0665	0,0675	0,0002
1,625	0,509	0,454	0,0321	0,0305	0,0026
0,375	0,509	0,454	0,0234	0,0220	0,0034
0,375	1,491	0,454	0,0574	0,0588	0,0006
1,625	1,000	1,546	0,0539	0,0550	0,0004
1,000	0,509	1,546	0,0295	0,0345	0,0287
0,375	1,000	1,546	0,0355	0,0375	0,0032

1,625	0,509	1,000	0,0307	0,0344	0,0145
0,375	0,509	1,000	0,0222	0,0205	0,0058
0,375	1,491	1,000	0,0549	0,0554	0,0001
1,625	1,491	1,000	0,0637	0,0648	0,0003
1,000	1,491	1,546	0,0600	0,0643	0,0051
1,625	1,000	0,454	0,0530	0,0502	0,0028
1,000	0,509	0,454	0,0314	0,0374	0,0365
0,375	1,000	0,454	0,0467	0,0423	0,0089
1,000	1,491	0,454	0,0639	0,0676	0,0034
Σ			0,9362	0,9598	0,1566

В основу решения поставленной задачи положена методика, изложенная в работе [6], согласно которой L примет следующий вид

$$L = C Q_1^\alpha D_1^\beta V_1^\gamma, \quad (6)$$

где

$$Q_1 = \frac{Q}{Q_{\text{ср}}}, \quad R_1 = \frac{R}{R_{\text{ср}}}, \quad V_1 = \frac{V}{V_{\text{ср}}}. \quad (7)$$

Логарифмирование (6) дает

$$\ln L = \ln C + \alpha \ln Q_1 + \beta \ln R_1 + \gamma \ln V_1. \quad (8)$$

или

$$Y = \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 + \eta. \quad (9)$$

где $\ln W = Y$, $\ln C = \eta$, $\ln Q_1 = X_1$, $\ln R_1 = X_2$ и $\ln V_1 = X_3$.

Параметры равенства (9) α , β , γ и η находим методом наименьших квадратов, согласно которому сумма квадратов отклонений ε_i экспериментальных точек от точек прямой должна быть наименьшей, то есть

$$F(\alpha, \beta, \gamma, \eta) = \sum_{i=1}^{21} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{21} (Y_i - (\alpha X_{1i} + \beta X_{2i} + \gamma X_{3i} + \eta))^2 \Rightarrow \text{минимум.}$$

Тогда имеем

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^{21} 2(Y_i - (\alpha X_{1i} + \beta X_{2i} + \gamma X_{3i} + \eta))(-X_{1i}) =$$

$$= 2 \sum_{i=1}^{21} (\alpha X_{1i}^2 + \beta X_{1i} X_{2i} + \gamma X_{1i} X_{3i} + \eta X_{1i} - X_{1i} Y_i) = 0.$$

Откуда

$$\alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i}^2 + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} = \sum_{i=1}^{21} X_{1i} Y_i.$$

Определив аналогично, $\frac{\partial F}{\partial \beta}$, $\frac{\partial F}{\partial \gamma}$, $\frac{\partial F}{\partial \eta}$, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i}^2 + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} = \sum_{i=1}^{21} X_{1i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i}^2 + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{2i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} = \sum_{i=1}^{21} X_{2i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} X_{3i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{3i}^2 + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{3i} = \sum_{i=1}^{21} X_{3i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{3i} + 21\eta = \sum_{i=1}^{21} Y_i. \end{cases}$$

После подстановки всех сумм по таблице 3, имеем

$$\begin{cases} 9,582\alpha + 0,410\beta + 0,526\gamma - 3,963\eta = 14,549, \\ 0,410\alpha + 4,925\beta + 0,293\gamma - 2,207\eta = 10,489, \\ 0,526\alpha + 0,293\beta + 6,507\gamma - 2,832\eta = 8,446, \\ -3,963\alpha - 2,207\beta - 2,832\gamma + 21\eta = -66,794. \end{cases} \quad (10)$$

Система (10) имеет решение: $\alpha = 0,221$, $\beta = 0,740$, $\gamma = -0,09$, $\eta = -3,074$.

Отсюда, имеем $C = e^\eta = e^{-3,074} = 0,046$.

Тогда зависимость (6) принимает вид

$$L = 0,046 Q_1^{0,221} R_1^{0,74} V_1^{-0,09}. \quad (11)$$

Формула (11) позволяет вычислить значения длины кривой контакта вала L .

Оценим точность аппроксимации опытных данных полученной формулой. Для каждого опытного значения L определим по формуле $\varepsilon_i = \left(\frac{\bar{L} - L}{\bar{L}} \right)$ отклонение от

среднего и квадрат этого отклонения, фиксируя подсчеты.

Определяем среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{0,037}{19}} = 0,044, \quad v = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,044}{\sqrt{21}} = 0,01.$$

Как видно, точность аппроксимации опытных данных формулой (11) более чем удовлетворительна.

Отметим, что сумма величины длины кривой контакта валка в процессе экспериментального исследования равна 0,9598. Отсюда, имеем $L_{\text{ср}} = 0,00457$ м. С учетом этого из выражения (11) можно получить следующие зависимости

$$L_1 = 0,6Q_1^{0,221}D_1^{0,74}V_1^{-0,09}, \quad (12)$$

$$L = 0,032Q^{0,221}D^{0,74}V^{-0,09}. \quad (13)$$

Известно [6], что

$$P = \frac{Q}{L}, \quad (14)$$

где P – удельное давление.

Тогда с учетом выражения (13), получим

$$P = 11,23Q^{0,779}R^{-0,74}V^{0,09}, \quad (15)$$

$$P = 56603,32L^{3,52}R^{-3,35}V^{0,41}. \quad (16)$$

Аналогично формулам (12) и (13), получим эмпирические формулы:

$$W_1 = 0,97Q_1^{-0,077}D_1^{0,046}V_1^{0,074}, \quad (17)$$

$$W = 92,58Q^{-0,077}D^{0,046}V^{0,074}, \quad (18)$$

где $W_{\text{ср}} = 57,25\%$;

$$N_1 = 0,98Q_1^{0,171}D_1^{0,034}V_1^{1,116}, \quad (19)$$

$$N = 189,77Q^{0,171}D^{0,034}V^{1,116}, \quad (20)$$

где $N_{\text{ср}} = 68,7$ Вт.

Подставим в формулу (14) значение L из равенства (13) и после несложных преобразований, находим

$$Q = 0,0126P^{1,28}D^{0,96}V^{-0,116}. \quad (21)$$

Отсюда, имеем

$$P = 31,12Q^{0,779}D^{-0,74}V^{0,09}. \quad (22)$$

Преобразуем формулу (18) с учетом равенства (21)

$$W = 130,97P^{-0,1}D^{-0,028}V^{0,083}. \quad (23)$$

Отсюда следует

$$P = 1,37 \cdot 10^{21} W^{-10} D^{-0,28} V^{0,83}. \quad (24)$$

Из равенства (23) при значениях $D = 0,22$ м и $V = 0,19$ м/с, имеем

$$W = 119,05 P^{-0,1}. \quad (25)$$

Из зависимости (25) следует, что с ростом удельного давления остаточная влажность кожи уменьшается и асимптотически приближается к определенной величине (например, при значениях $R = 0,22$ м, $v = 0,18$ м/с к величине $W = 57\%$).

Продолжим оптимизацию параметров валкового отжима кожи с учетом удельного давления. Для этого будем решать основную экстремальную задачу – задачу определения параметров валковых машин для отжима кожевенного полуфабриката, обеспечивающих величину остаточной влажности, требуемую в техническом задании.

Пусть заданная величина остаточной влажности кожевенного полуфабриката – W_T .

Расчет рациональных параметров валковых машин для отжима кожевенного полуфабриката осуществляется по следующему алгоритму.

1. Длину рабочей части валков B определяем в зависимости шириной кожи H . Эта величина должна быть на $10 \div 12$ см больше, чем H [11], то есть

$$B = H + (10 \div 12), \text{ см}. \quad (26)$$

2. Диаметр валка с эластичным покрытием (сукном) D находим путем решения компромиссной задачи.

3. Скорость валка V находим с учетом скорости транспортирующего механизма и скорости кожи V_k , которая определяется по формуле

$$V_k = \frac{\Pi}{60aBK}, \quad (27)$$

где Π – заданная производительность отжимной машины; a – 1 м² кожи; K – коэффициент, учитывающий способ заправки кожи, который с учетом транспортирующего механизма принимается в пределах $0,85 \div 0,90$ [11].

4. Среднее удельное давление находим по формуле

$$P = 1,37 \cdot 10^{21} W_T^{-10} R^{-0,28} V^{0,083}. \quad (28)$$

5. Интенсивность нагрузки определяем по формуле

$$Q = 0,038 P^{1,28} R^{0,96} V^{-0,116}. \quad (29)$$

6. Вычисляем общую нагрузку, приложенную к валкам, по формуле

$$G = QB. \quad (30)$$

7. Находим мощность процесса по формуле

$$N = 189,77Q^{0,171}R^{0,034}V^{1,116}. \quad (31)$$

8. Мощность двигателя валковой проходной машины определяем по формуле:

$$N_d = (1,15 \div 1,25) \frac{M\omega}{975\eta_{обш}i_{обш}}, \quad (32)$$

где $i_{обш}$ — общее передаточное число механизма привода; $\eta_{обш}$ — общий КПД механизма привода от вала двигателя до рабочего вала.

9. Остаточную влажность кожи определяем по формуле

$$W_p = 92,58Q^{-0,077}R^{0,046}V^{0,074}. \quad (33)$$

10. Сравниваем величины заданной остаточной влажности W_T и рассчитанной остаточной влажности W_p .

Если $W_p < W_T$, то необходимо, либо уменьшить нагрузку G , либо увеличить диаметр D , проверив при этом предел прочности кожи и прогиб валков.

Если $W_p > W_T$, то следует, либо увеличить нагрузку G , либо уменьшить диаметр валков D , проверив при этом предел прочности кожи и прогиб валков.

Если разность W_p и W_T не отличается на величину, превышающую допускаемую, то считают, что выбор параметров осуществлен правильно.

Расчет параметров валковых машин для отжима кожевенного полуфабриката по данной методике выполнен с учетом удельного давления. Это позволяет научно-обоснованно формировать параметры валкового отжима кожевенного полуфабриката, и открывает новые возможности совершенствования имеющихся в эксплуатации валковых отжимных машин.

Выполнив расчеты параметров по указанному алгоритму, выявлено, что для достижения остаточной влажности кожевенного полуфабриката $W = 58\%$, валковая проходная отжимная машина должна иметь следующие основные параметры (табл. 4):

Таблица 4. Основные параметры валковой отжимной машины.

Параметры	Величина параметров
Ширина рабочего прохода, мм.	1800
Скорость валков, м/с.	0,18

Диаметры валков (с покрытием), м.	0,220
Мощность электродвигателя, кВт	4,2
Интенсивность нагрузки, кН/м	36

Таким образом, расчет параметров валковых проходных машин для отжима кожевенного полуфабриката по разработанной методике позволит избежать необоснованных завышений или занижений их показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Методами планирования эксперимента найдены регрессионные формулы, описывающие остаточную влажность кожи и мощность от интенсивности нагрузки, скоростей и радиусов валков.

2. Решена экстремальная задача по определению диаметра валков, обеспечивающих минимальный прогиб их рабочей части, величину остаточной влажности, требуемой от процесса отжима и наименьшую мощность, необходимую для проведения процесса отжима.

Таким образом, разработана методика расчета оптимальных параметров валкового отжима кожевенного полуфабриката с учетом удельного давления. Это позволяет научно-обоснованно формировать параметров валкового отжима кожевенного полуфабриката и открывает новые возможности совершенствования имеющихся в эксплуатации валковых отжимных машин.

ВЫВОДЫ

Экспериментальным исследованием установлено, что

- с уменьшением радиусов, скорости валков, а также с увеличением интенсивности нагрузки качество валкового отжима кожи улучшается;
- с увеличением интенсивности нагрузки остаточная влажность уменьшается;
- при прочих равных условиях функцию остаточной влажности от радиуса валка $W_{\text{ост}}(R)$ можно считать линейно-возрастающей;
- характер изменения остаточной влажности от скорости валка $W_{\text{ост}}(V)$ не зависит от радиуса валков;

- график зависимости мощности от радиуса валка $N = N(R)$ имеет точку экстремума, то есть существует такой радиус валков, в котором N будет минимальным.
- с ростом удельного давления остаточная влажность уменьшается и асимптотически приближается к определенной величине (например, при значениях $R = 0,22$ м $v = 0,18$ м/с к величине $W = 57\%$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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*. 2020, 916, 012051. doi:10.1088/1557-899X/916/1/012051.
- [2] Alexa V., Ratiu S.A., Kiss I, Ciota G. Modelling pressure rolling of asymmetric rolling Process, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017, 200, 012038.
- [3] Khurramov Sh.R., Abdugarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction stress in twin roll modules, *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, 1789, 012008. doi:10.1088/1742-6596/1789/1/012008.
- [4] Khurramov Sh.R., Bahadirov G.A. To the solution problems of contact interaction in a two-roll module, *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, 1889, 042029. doi:10.1088/1742-6596/1889/1/ 042029.
- [5] Tieu A.K., Liu Y.J. Friction variation in the cold rolling process, *Tribology International*. 2004, 37, 177-183.
- [6] Новиков Н.Е. *Прессование бумажного полотна*. М.: Лесная промышленность, 1972. 242 с.
- [7] Khurramov Sh.R. Filtration rates in roller pressing of fibrous materials, *AIP Conference Proceedings*. 2021, 2402, 030042. <https://doi.org/10.1063/5.0071266>.
- [8] Kerekes R.J., McDonal J.D. Equilibrium moisture content in wet pressing of paper, *Tappi Journal*. 2020, 19(7), 333-340.
- [9] Khurramov Sh.R., Khalturayev F.S., Buriev E.S. Residual moisture content in semi-finished leather under roller pressing, *AIP Conference Proceedings*. 2021, 2402, 030038. <https://doi.org/10.1063/5.0071265>.
- [10] Тихомиров В.Б. *Планирование и анализ эксперимента (при поведении исследований в легкой и текстильной промышленности)*. М.: Легкая индустрия, 1974. 262 с.

[11] Kurbanova F., Turgunov K., Abdukhalikova D. Influence of the parameters of the contact area, *AIP Conference Proceedings*. 2021, 2402, 030041. <https://doi.org/10.1063/5.0074272>.

REFERENCES

- [1] 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*. 2020, 916, 012051. doi:10.1088/1557-899X/916/1/012051.
- [2] Alexa V., Ratiu S.A., Kiss I, Ciota G. Modelling pressure rolling of asymmetric rolling Process, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017, 200, 012038.
- [3] Khurramov Sh.R., Abdugarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction stress in twin roll modules, *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, 1789, 012008. doi:10.1088/1742-6596/1789/1/012008.
- [4] Khurramov Sh.R., Bahadirov G.A. To the solution problems of contact interaction in a two-roll module, *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, 1889, 042029. doi:10.1088/1742-6596/1889/1/042029.
- [5] Tieu A.K., Liu Y.J. Friction variation in the cold rolling process, *Tribology International*. 2004, 37, 177-183.
- [6] Novikov N.E. *Pressovaniye bumajnogo polotna*. M.: Lesnaya promyshlennost, 1972. 242 p.
- [7] Khurramov Sh.R. Filtration rates in roller pressing of fibrous materials, *AIP Conference Proceedings*. 2021, 2402, 030042. <https://doi.org/10.1063/5.0071266>.
- [8] Kerekes R.J., McDonal J.D. Equilibrium moisture content in wet pressing of paper, *Tappi Journal*. 2020, 19(7), 333-340.
- [9] Khurramov Sh.R., Khalturaev F.S., Buriev E.S. Residual moisture content in semi-finished leather under roller pressing, *AIP Conference Proceedings*. 2021, 2402, 030038. <https://doi.org/10.1063/5.0071265>.
- [10] Tihomirov V.B. *Planirovaniye i analiz eksperimenta (pri povedenii issledovaniy v legkoy i tekstilnoy promyshlennosti)*. M.: Legkaya industriya, 1974. 262 p.
- [11] Kurbanova F., Turgunov K., Abdukhalikova D. Influence of the parameters of the contact area, *AIP Conference Proceedings*. 2021, 2402, 030041. <https://doi.org/10.1063/5.0074272>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тургунов Комил Курбаналиевич,
ст.преп., Ташкентский архитектурно-
строительный институт, Ташкент,
Республика Узбекистан
E-mail: komilturgunov@mail.ru

Turgunov Komil Kurbanalievich, Senior
Lecturer, Tashkent Institute of Architecture
and Civil Engineering, Tashkent, Republic
of Uzbekistan

Аннаев Нуриддин Узокович,
ст.преп., Ташкентский архитектурно-
строительный институт, Ташкент,
Республика Узбекистан
E-mail: nuriddin.annayev.91@mail.ru

Annaev Nuriddin Uzoqovich, Senior
Lecturer, Tashkent Institute of Architecture
and Civil Engineering, Tashkent, Republic
of Uzbekistan

Алибоев Кахрамон Юсупович,
ст.преп., Ташкентский архитектурно-
строительный институт, Ташкент,
Республика Узбекистан
E-mail: qaxramon.aliboyev@mail.ru

Aliboev Kakhramon Yusupovich, Senior
Lecturer, Tashkent Institute of Architecture
and Civil Engineering, Tashkent, Republic
of Uzbekistan

*Статья поступила в редакцию 18.04.2022; одобрена после рецензирования 25.05.2022; принята
к публикации 21.06.2022.*

*The article was submitted 18.04.2022; approved after reviewing 25.05.2022; accepted for publication
21.06.2022.*