

УДК 677.057.444

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ТКАНИ
В ПРОМЫВНОЙ РОЛИКОВОЙ МАШИНЕ
С УВЕЛИЧЕННОЙ ДЛИНОЙ ЗАПРАВКИ**

**RESEARCH OF THE RESISTENT TO FABRIC MOVEMENT
IN THE WASHING ROLLER MACHINE
WITH INCREASED LENGTH OG CHARGING**

М.В. ПАРАХИНА, В.С. САМСОНОВ
M.V. PARAKHINA, V.S. SAMSONOV

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin")
E-mail: office@msta.ac.ru

В статье рассмотрены методика расчета и результаты исследований сопротивления движению ткани в зоне промывной роликовой машины с увеличенной длиной заправки. Дан анализ полученных результатов исследований.

The methods of calculation and the results of the research of resistance to fabric movement in a washing roller machine zone with increased length of charging

have been considered in the article. The analysis of the received research results is presented.

Ключевые слова: промывная роликовая машина, заправка, сопротивление движению ткани, натяжение.

Keywords: a washing roller machine, charge, resistance to fabric movement, tension.

Передовые зарубежные машиностроительные фирмы (Беннингер, Швейцария; Бругман, Нидерланды; Кляйневеферс, Германия) оснащают поточные линии машинами для жидкостной и тепловой обработки с увеличенной длиной заправки ("петля в петле"), в которых ткань перемещается по четырем рядам направляющих роликов. Это позволяет увеличить длину заправки и время обработки ткани по сравнению с применяемыми двухрядными машинами типа ВЦМ, ВЦП в 1,8...2,2 раза при одинаковых габаритах. Благодаря этому можно существенно сократить число машин в поточной линии (или увеличить скорость движения ткани), значительно снизить капитальные затраты, удельные расходы воды, реагентов, электрической и тепловой энергии.

Однако увеличение числа направляющих роликов и длины заправки в одной зоне машины несомненно будет причиной существенного роста сопротивления движению ткани, увеличению ее натяжения, особенно при высоких скоростях, что может стать ограничением в применении такого оборудования для обработки широкого ассортимента тканей с легкоподвижной структурой.

Задача настоящей работы заключается в исследовании сопротивления движению ткани с целью: оптимизации параметров зоны обработки, разработки технических средств управления натяжением в роликовых машинах с увеличенной длиной заправки.

Промывная роликовая машина с заправкой "петля в петле" (рис. 1) состоит из компенсатора 1, двух рядов внешних роликов 2 диаметром 130 мм и двух рядов внутренних роликов 3 диаметром 95 мм. Ролики нижних рядов установлены в ванне

4. Расстояние между рядами внешних верхних и нижних роликов составляет 0,85 м, внутренних – 0,59 м.

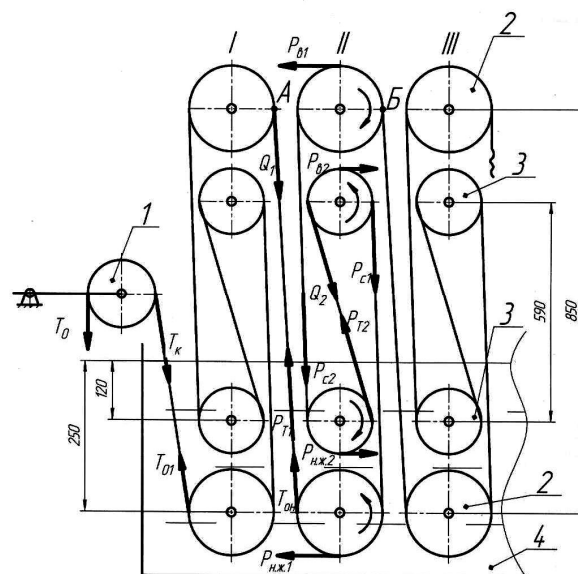


Рис. 1

Продольное натяжение ткани в роликовой машине для жидкостной обработки определяется величиной натяжения, создаваемого компенсатором 1, действием силы тяжести самой ткани, а также местными сопротивлениями, которые и являются основными составляющими натяжения. Для расчета натяжения ткани необходимо определить основные сопротивления: вращению нижних роликов в подшипниковых опорах и жидкости $P_{н.ж}$; вращению верхних роликов в подшипниковых опорах $P_в$; движению восходящей ветви ткани в жидкости и вне ее $P_с$; движению нисходящей ветви ткани в жидкости $P_т$.

Найдем полное сопротивление движению ткани в одной зоне между точками А и Б. При определении сопротивления вращению нижних роликов необходимо учитывать, что на подшипниковые опоры ро-

лика, находящегося в жидкости, действуют следующие силы: $T_{\text{он}}$ – натяжение ткани; G – вес ролика; P_A – выталкивающая сила.

Вес ролика при номинальной ширине $B_H=1,4$ м диаметром 130 мм равен 210 Н, а ролика диаметром 95 мм – 140 Н. Нагрузка на подшипниковые опоры без учета натяжения ткани $G_H = G - P_A$, где $P_A = \gamma V$; γ – удельный вес жидкости, Н/м³; V – объем ролика, м³.

Принимаем натяжение набегающей ветви $T_{\text{он}} = 60$ Н. В первом приближении считаем, что натяжение сбегающей ветви равно $T_{\text{он}}$. Исходя из условия, что $G_H < 2T_{\text{он}}$, полное сопротивление вращению ролика в подшипниковых опорах и в жидкости находим по следующей зависимости [1]:

$$P_{\text{н.ж}} = \frac{(2T_{\text{он}} - G_H)f_{\text{ц}}d + P_{\Gamma}D}{D - f_{\text{ц}}d}, \quad (1)$$

где $f_{\text{ц}}$ – коэффициент трения в подшипниках качения, приведенный к цапфе 0,03; в подшипниках скольжения для пары трения сталь 12Х18Н9Т– ДГ-2 коэффициент трения в воде 0,09 [2]; D , d – диаметр рубашки и цапф ролика соответственно, м; P_{Γ} – приведенная к рубашке ролика сила гидравлического сопротивления, Н.

Для расчета приведенной силы гидравлического сопротивления с ошибкой, не превышающей 2%, воспользуемся упрощенным выражением [1]:

$$P_{\Gamma} = 1,6C_v\rho Dv^2B_H, \quad (2)$$

$$P_C = [(540N^2 + 24N + 36)v^2 - (710N^2 - 172N - 143)v + 333N^2 - 420N + 250] \cdot 10^{-2} \cdot 1,64 \cdot K_B K_T K_{\Pi}, \quad (5)$$

где N – глубина погружения ткани в жидкость (для внешних роликов $N_1=0,25$ м, для внутренних $N_2 = 0,12$ м); K_B – коэффициент, учитывающий ширину ткани, для ткани шириной $B = 1,0$ м $K_B = 1,0$; K_T – коэффициент, учитывающий поверхностную плотность и шероховатость ткани; $K_{\Pi} = 1,1$ – поправочный коэффициент, который учитывает, что для данной схемы

где C_v – коэффициент сопротивления вращению ролика в жидкости; ρ – плотность жидкости, кг/м³; v – окружная скорость ролика, м/с; B_H – номинальная ширина рубашки ролика, м.

Чтобы определить коэффициент сопротивления вращению ролика в жидкости, используем эмпирическую зависимость, полученную на основе статистической обработки результатов однофакторного эксперимента $P_{\Gamma} = f(v)$ [1]

$$C_v = (34,1 - 47v + 24,7v^2 - 4,28v^3) \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Исследования проводились при температуре воды 20° С.

Сопротивление вращению верхнего ролика в опорах находим по следующей зависимости, условно принимая $T_{\text{об}} = T_{\text{он}}$,

$$P_B = \frac{(2T_{\text{об}} + G)f_{\text{ц}}d}{D - f_{\text{ц}}d}. \quad (4)$$

Полное сопротивление P_C движению восходящей ветви ткани в жидкости и вне ее (с учетом силы тяжести ткани) рассчитывается по эмпирическому выражению:

N_1 больше, чем при проведении эксперимента на 25 мм.

Результаты расчетов P_C для $N_1 = 0,25$ м приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

В, м	v, м/с			
	0,5	1,0	1,5	2,0
0,8	3,68	5,52	7,91	10,83
1,0	4,61	6,91	9,90	13,57
1,2	5,54	8,30	11,89	16,29

При увеличении расстояния между роликками 2 до 0,96 м и глубины погружения H_1 до 0,35 м полное сопротивление движе-

$$P_c = [4,0 + 3,85H - 4,19H^2 + (2,0 - 8,48H + 10,26H^2)v + (7,17 - 2,29H - 1,96H^2)v^2]K_B K_T. \quad (6)$$

Результаты расчетов по формуле (6) приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

В, м	v, м/с			
	0,5	1,0	1,5	2,0
0,8	5,21	9,00	15,25	23,94
1,0	6,51	11,25	19,06	29,93
1,2	7,81	13,50	22,87	35,91

Отметим, что при увеличении глубины погружения до 0,35 м значительно повышается полное сопротивление движению восходящей ветви ткани (при скорости 1,5 и 2,0 м/с в 1,9...2,2 раза), что в итоге негативно сказывается на общем натяжении.

При определении сопротивления движению нисходящей ветви ткани в жидкости следует учитывать [3] толщину увлекаемого пограничного слоя, характер распределения скоростей по высоте пограничного слоя и режим течения в нем. Известно, что режим течения может быть определен числом Рейнольдса: $Re_n = vx / \nu$, где v – скорость движения плоского тела; x – текущая длина пластины; ν – кинематическая вязкость жидкости.

При минимальной скорости и малой длине погружения ткани ($Re_{н.кр} < 3,5 \cdot 10^5$) течение жидкости в пограничном слое будет оставаться ламинарным на всей длине ткани, погруженной в жидкость. В этом случае сила сопротивления может быть выражена следующей зависимостью, которая дает лучшее согласование с опытными данными [1]:

$$P_T = 1,6V\sqrt{\mu\rho v^3 H}, \quad (7)$$

$$P_T = 0,031 \left(\frac{k_\Gamma}{H} + \frac{84}{Re_H} \right)^{0,21} H B \rho v^2 - \mu Re_{н.кр} \nu B (C_{fT} - C_{fH}), \quad (9)$$

где $Re_{н.кр}$ согласно [2] определяется по следующей формуле:

нию восходящей ветви ткани рассчитывается по эмпирической формуле:

где μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

При высоких скоростях движения ткани ($v \geq 2,0$ м/с; $Re_{н.кр} \geq 3,5 \cdot 10^5$) турбулизация в пограничном слое происходит уже на входе ткани в жидкость [1]. В этом случае гидравлическое сопротивление движению нисходящей ветви ткани будет определяться зависимостью

$$P_T = 0,031 \left(\frac{k_\Gamma}{H} + \frac{84}{Re_H} \right)^{0,21} H B \rho v^2, \quad (8)$$

где k_Γ – гидравлическая шероховатость, для хлопчатобумажных тканей полотняного переплетения составляет $(1,5 - 1,8) \cdot 10^{-5}$ м [1].

Для расчета гидравлического сопротивления при переходном режиме, когда турбулентный поток образуется при определенном значении текущей длины ткани ($x_{кр}$), погруженной в жидкость, воспользуемся положением, выдвинутым Л. Прандтлем [3]. Для этого необходимо из полного сопротивления пластины при турбулентном режиме вычесть сопротивление ее участка длиной $x_{кр}$ и прибавить к полученной разности сопротивление, найденное для этого же участка, но при ламинарном режиме течения. Тогда сопротивление движению ткани:

$$Re_{н.кр} = (1,35 + 1,1v - 0,63v^2) \cdot 10^5. \quad (10)$$

Определим полное сопротивление движению ткани в технологической зоне

II между точками А и Б:

$$\Delta T_{II} = P_{T1} - Q_1 + P_{н.ж1} + P_{c1} + P_{в2} - Q_2 + P_{T2} + P_{н.ж2} + P_{c2} + P_{в1}, \quad (11)$$

где $Q_1 = 1,5$ Н, $Q_2 = 1,2$ Н – вес нисходящих ветвей ткани шириной 1,0 м.

Значения ΔT_{II} , найденные согласно формуле (11), для параметров, указанных на рис. 1, представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

В, м	Общее сопротивление движению ткани в одной зоне ΔP_{II} , Н							
	при $f_{ц} = 0,03$ для верхних роликов и нижних роликов				при $f_{ц} = 0,03$ для верхних роликов и $f_{ц} = 0,09$ для нижних роликов			
	0,5 м/с	v = 1,0 м/с	v = 1,5 м/с	v = 2,0 м/с	v = 0,5 м/с	v = 1,0 м/с	v = 1,5 м/с	v = 2,0 м/с
0,8	13,87	19,82	30,29	40,75	16,83	22,82	32,01	43,10
0,9	14,87	21,35	32,58	44,14	17,83	24,35	34,20	46,49
1,0	15,94	22,96	34,90	47,71	18,90	25,96	36,72	50,06
1,1	16,97	24,49	37,28	51,10	19,93	27,49	38,99	53,45
1,2	18,03	26,10	36,69	54,64	20,99	29,10	41,41	56,99

Принятые в расчетах упрощения и допущения могут быть причиной занижения полученных значений ΔT_{II} , но не более чем на 5...10%.

В варианте, когда ролики, находящиеся в жидкости, установлены в подшипниках скольжения ($f_{ц} = 0,09$), результаты расчетов ΔT_{II} можно аппроксимировать математическим выражением:

$$\Delta T_{II} = (10,2 + 13,6v + 3,2v^2)V^{0,5}.$$

Приведенная зависимость справедлива для следующих значений параметров: $V_H = 1,4$ м, $V = 0,8...1,2$ м, $v = 0,5...2,0$ м/с, $D_1 = 0,13$ м, $D_2 = 0,095$ м, $d_{ц} = 0,03$ м, $A_1 = 0,85$ м, $A_2 = 0,59$ м, $H_1 = 0,25$ м, $H_2 = 0,12$ м, $\mu = 1 \cdot 10^{-6}$ Пас, $q = 0,13$ кг/м² при средней нагрузке на ролик от натяжения ткани 120 Н.

В Ы В О Д Ы

1. Предложенная методика расчета позволяет определить основные составляющие сопротивления и полное сопротивление движению ткани в одной зоне машины с заправкой "петля в петле".

2. Установлено, что наиболее существенной составляющей натяжения является

сопротивление движению восходящей ветви ткани, особенно в диапазоне скоростей 1,5...2,0 м/с и при повышении уровня жидкости и расстояния между рядами роликов; увеличение максимального уровня жидкости с 0,25 до 0,35 м приводит к повышению данного сопротивления соответственно в 1,9...2,2 раза, что считается нежелательным при стремлении минимизировать отрицательное воздействие натяжения на ткани с легкоподвижной структурой.

3. Определено полное сопротивление движению ткани в зоне жидкостной обработки в зависимости от ее основных конструктивных и технологических параметров, а также параметров обрабатываемой ткани.

4. Результаты исследований могут быть применены для оценки силового воздействия натяжения на ткань и при определении моментных характеристик регулируемого привода тканетранспортирующих роликов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Самсонов В.С. Исследование натяжения ткани в промывной роликовой машине: Дис.... канд. техн. наук. – М.: МТИ им. А.Н. Косыгина, 1971.
2. Самсонов В.С. Типовые устройства текстильного отделочного оборудования. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2011.