

УДК 677.026.4:677.08

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ХОЛСТОФОРМИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ НА ВЫСОТУ ХОЛСТА

Е.Л. Лукьянова, Н.В. Ульянова, А.М. Воронов

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Исследовано влияние скорости вращения формирующего цилиндра и скорости движения ленты транспортера на высоту холста. Получена математическая зависимость соответствующих испытаний.

Объективной возможностью решения проблемы обращения с отходами производства является своевременная их переработка с целью вторичного использования. В текстильной промышленности вопрос вторичного использования отходов нетканых материалов повышенной жесткости и плотности для изготовления различных полотен является перспективным направлением для бизнеса, науки и общества [1].

Испытания проводились на ООО «Акотерм флакс» (г. Ореховск). Предприятие оснащено линией по производству нетканых материалов компании «Cormatex», системой «Airlay», получившей также название «Lap FormAir». Система основана на принципе формирования холста в камерах повышенного давления, использующих воздух внутри перфорированных рабочих органов, на поверхности которых накапливаются слои материала. Преимуществом технологии «Cormatex» является исключительная однородность получаемого холста в трех измерениях благодаря качественному поэтапному перемешиванию различных, в том числе абсолютно разнородных, компонентов, до стадии накопления смеси в конденсирующей камере повышенного давления при автоматическом контроле равномерного заполнения каждого квадратного сантиметра площади материала [2]. Формирование холста осуществлялось при подаче волокнистого материала на ленточный транспортер.

Цель данной работы состояла в комплексном исследовании влияния скорости вращения формирующего цилиндра и скорости движения ленты транспортера на высоту холста, а также разработка математической зависимости процесса.

Известно, что технология нетканых материалов способом термоскрепления включает операции подготовки сырья, формирование волокнистой основы и скрепление волокон [3].

Характер протекания процесса формирования холста при подаче волокнистого материала с машины «Lap FormAir» на ленточный транспортер можно рассматривать с позиции процесса дозирования, т.е. нижняя формирующая камера наполняется волокнистым материалом за счет вращения питающих и формирующего цилиндров в секции разрыхления, и материал порционно подается на транспортирующую ленту через питающую шахту, размер выходного отверстия которой регулируется прижимными пластинами (рис. 1). В процессе осуществляется непрерывное объемное дозирование, т.е. на всех этапах элементы оборудования подают поток волокнистого продукта равным объемом Q , кг/с [4]:

$$Q = S_{np} v_{np} \rho, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

где S_{np} – поперечное сечение продукта; v_{np} – скорость его потока, м/с; ρ – плотность продукта, кг/м³.

Изменение физико-механических свойств продукта и случайное отклонение от объема подачи являются случайными величинами, варьируемыми во времени. Следовательно, и составляющие формулы (1) могут случайным образом изменяться, а значит, объем подаваемого продукта – это случайная функция во времени.

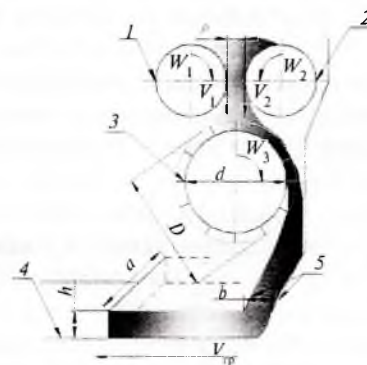


Рис. 1. Движение волокнистой массы при формировании холста: поз. 1-5 поясняются в тексте.

Оценить точность объема подаваемого количества волокнистого материала можно путем взвешивания проб, отобранных из потока за промежуток времени t . Масса каждой пробы равна

$$m_{\text{пр}} = \int_0^t Q(t) dt, \quad (2)$$

В каждом случае масса отобранных проб различна, что отражает колебания расхода продукта. Это может быть связано с изменениями физико-механических свойств волокнистого материала на каждой стадии подачи (в связи с разрыхлением), в частности, объемной плотности.

Устройство машины «Lap FormAir» и режимы ее работы должны обеспечить не только малые случайные колебания производительности, но и соответствие средней массы пробы ее заданному по рецептуре значению: $m_{\text{зид}} = Qt$.

Рассмотрим процесс формирования холста в случае регулировок элементов оборудования в секции разрыхления и нижней формирующей камеры с целью прогнозирования высоты формируемого волокнистого холста.

Объем волокнистого материала, подаваемого на формирующий цилиндр (рис. 1, поз. 3), зависит от расстояния между питающими цилиндрами n (рис. 1, поз. 1 и 2):

$$Q_{m_{1(2)}} = \frac{60}{1000} \rho S_{\text{ш}} v_{1(2)}, \quad (3)$$

где $S_{\text{ш}}$ – площадь щели между распределяющими валиками при $S_{\text{ш}} = mn$, м^2 ; $v_{1(2)}$ – скорость вращения питающих цилиндров, м/с , равная $W_{1(2)} R_{1(2)}$; m – длина питающих цилиндров, м . Длина питающих цилиндров m равна длине формирующего цилиндра и ширине сформированного холста a .

Объем волокнистого материала, подаваемого через питающую шахту (рис. 1, поз. 5) на ленту транспортера можно описать формулой

$$Q_{\text{мп}} = S_{\text{с.пр}} \rho v_{\text{мп}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{с.пр}}$ – площадь поперечного сечения продукта, м^2 ; $v_{\text{мп}}$ – скорость движения ленточного транспортера, м/с .

При этом объем материала, подаваемого на ленту транспортера, будет зависеть от площади сечения и скорости транспортирования ленты, т.е. эти два показателя являются управляющими параметрами. Площадь поперечного сечения продукта есть не что иное, как площадь сечения волокнистого холста $S_{\text{с.вк}}$, м^2 , равная произведению его ширины a и высоты h .

Тогда

$$Q_{\text{тр}} = \rho a h v_{\text{мп}}. \quad (5)$$

Для ленточных дозаторов объем подаваемого материала равен [4].

$$Q = 3600 S_{\text{с.вк}} v_{\text{тр}} \rho = 3600 a h v_{\text{тр}} \rho. \quad (6)$$

Рассмотрим подачу волокнистого материала на формирующем цилиндре (рис. 1, поз. 3). С учетом того, что формирующий цилиндр имеет иглы, установленные в ряд, можно определить его объемный расход в зависимости от количества рядов игл и наружного и внешнего диаметров, представив ряд игл в виде пластины, захватывающей при обороте волокнистый материал, что соответствует производительности барабанного дозатора [4]:

$$Q = S_{\text{ш}} \delta z w, \quad (7)$$

где w – угловая скорость вращения формирующего цилиндра, с^{-1} ; δ – длина ряда игл (длина формирующего цилиндра), м , $\delta = a$; z – количество рядов игл, шт.

Объем материала, попадающий между рядами игл, можно определить исходя из площади канавок $S_{\text{к}}$ между рядами игл, т.е.:

$$S_{\text{ш}} = S_{\text{к}} = \frac{D-d}{2} \epsilon, \quad (8)$$

где D, d – диаметр внешней и внутренней окружности формирующего цилиндра, м ; ϵ – длина формирующего цилиндра, равная ширине холста, м , $\epsilon = a$.

В этом случае формула 10 примет вид:

$$Q = W \rho a z \frac{D-d}{2} a. \quad (9)$$

Для того, чтобы формирующий цилиндр подавал массу волокнистого материала, необходимую для транспортирующей ленты и формирования нужной высоты холста, объемы подачи по формулам (6) и (9) должны быть равны или на формирующем цилиндре больше, чем на выходе из питающей шахты. Следовательно, из системы уравнений

$$\begin{cases} Q = 3600 a h v_{\text{тр}} \rho \\ Q = W \rho a z \frac{D-d}{2} a \end{cases} \quad (10)$$

можно определить искомую высоту формируемого холста:



Рис. 2. Зависимость высоты холста от варьируемых параметров работы машины «Lap FormAir».

$$h = \frac{Wpa_z(D-d)a}{2 \cdot 3600ahv_{\text{тр}}\rho} = \frac{Wz(D-d)a}{2 \cdot 3600v_{\text{тр}}} \quad (11)$$

Из формулы (11) видно, что варьируемыми показателями при регулировании высоты холста являются скорость вращения формирующего цилиндра и скорость ленты транспортера. Но также следует учитывать, что расстояние между пластинами питающей шахты b равно высоте холста h .

С помощью программного устройства можно задать поверхностную плотность холста через массу одного метра квадратного ($\text{кг}/\text{м}^2$) пробы, что, по сути, является поверхностной плотностью холста. Данный параметр не дает возможности прогнозировать его высоту, поэтому на предприятии

ее подбирают экспериментально. Для доказательства этого проинтегрируем выражение (2):

$$m_{\text{пр}} t = Qt^2/2 \quad (12)$$

и далее

$$m_{\text{пр}} = Qt/2. \quad (13)$$

Подставим в формулу (13) данные формулы (5):

$$m_{\text{пр}} = \frac{ah\rho v_{\text{тр}} t}{2} \quad (14)$$

Исходя из исходных данных, задаваемых в параметрах машины, и зная, что поверхностная плотность $\rho_{\text{пов}}$ равна частному от деления массы m образца на его площадь F , формулу (14) запишем как

$$\rho_{\text{пов}} aS = \frac{ah\rho v_{\text{тр}} t}{2}, \quad (15)$$

где S – расстояние, пройденное продуктом по ленте за время t , м.

Задавая в параметрах работы машины поверхностную плотность, имеем:

$$\rho_{\text{пов}} = \frac{ah\rho v_{\text{тр}} t}{2aS} = \frac{h\rho v_{\text{тр}} t}{2S} \quad (16)$$

При этом объемная масса волокнистого материала равна

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{aSh}, \quad (17)$$

где V – объем волокнистого материала, м^3 .

Таблица 1. Зависимость высоты холста от варьируемых параметров работы машины «Lap FormAir»

Скорость транспортирования, м/с	Высота холста, м, при различной скорости вращения формирующего цилиндра											
	100 с ⁻¹			200 с ⁻¹			300 с ⁻¹			400 с ⁻¹		
	отклонение		отклонение		отклонение	отклонение			отклонение			отклонение
0.16	0.07	0.05	0.7	0.13	0.10	0.8	0.20	0.16	0.8	0.21		
0.17	0.06	0.05	0.8	0.12	0.10	0.8	0.18	0.15	0.8	0.20		
0.18	0.06	0.05	0.8	0.12	0.09	0.8	0.17	0.14	0.8	0.19		
0.19	0.05	0.04	0.8	0.11	0.09	0.8	0.16	0.13	0.8	0.18		
0.2	0.05	0.04	0.8	0.10	0.08	0.8	0.16	0.13	0.8	0.17		
0.21	0.05	0.04	0.8	0.10	0.08	0.8	0.15	0.12	0.8	0.20	0.16	0.8
0.22	0.05	0.04	0.8	0.09	0.08	0.9	0.14	0.11	0.8	0.19	0.15	0.8
0.23	0.05	0.04	0.8	0.09	0.07	0.8	0.14	0.11	0.8	0.18	0.14	0.8
0.24	0.04	0.03	0.8	0.09	0.07	0.8	0.13	0.1	0.8	0.17	0.14	0.8
0.25	0.04	0.03	0.8	0.08	0.07	0.9	0.13	0.1	0.8	0.17	0.13	0.8

Таблица 2. Значения высоты формируемого холста

Скорость транспортирования, м/с	Скорость вращения формирующего цилиндра с ⁻¹									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0.06	0.17	0.35	0.52	0.69	0.87	1.04	1.22	1.39	1.56	1.74
0.07	0.15	0.30	0.45	0.60	0.74	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49
0.08	0.13	0.26	0.39	0.52	0.65	0.78	0.91	1.04	1.17	1.30
0.09	0.12	0.23	0.35	0.46	0.58	0.69	0.81	0.93	1.04	1.16
0.1	0.10	0.21	0.31	0.42	0.52	0.63	0.73	0.83	0.94	1.04
0.11	0.09	0.19	0.28	0.38	0.47	0.57	0.66	0.76	0.85	0.95
0.12	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43	0.52	0.61	0.69	0.78	0.87
0.13	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	0.80
0.14	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.45	0.52	0.60	0.67	0.74
0.15	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63	0.69
0.16	0.07	0.13	0.20	0.26	0.33	0.39	0.46	0.52	0.59	0.65
0.17	0.06	0.12	0.18	0.25	0.31	0.37	0.43	0.49	0.55	0.61
0.18	0.06	0.12	0.17	0.23	0.29	0.35	0.41	0.46	0.52	0.58
0.19	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33	0.38	0.44	0.49	0.55
0.2	0.05	0.10	0.16	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42	0.47	0.52
0.21	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.22	0.05	0.09	0.14	0.19	0.24	0.28	0.33	0.38	0.43	0.47
0.23	0.05	0.09	0.14	0.18	0.23	0.27	0.32	0.36	0.41	0.45
0.24	0.04	0.09	0.13	0.17	0.22	0.26	0.30	0.35	0.39	0.43
0.25	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38	0.42

Примечание. В таблице серым цветом выделены значения высоты холста, которые превышают возможное значение в связи с ограничением используемого на предприятии оборудования.

Тогда

$$\rho_{пов} = \frac{m v_{тр} t}{2S^2} \tag{18}$$

Из формулы (18) видно, что, регулируя режим работы машины только изменением поверхностной плотности (на производстве $v_{тр} = const$) высоту холста прогнозировать нельзя, что и требовалось доказать. Поэтому при проектировании холста определенной высоты путем выбора режимов работы машины «Lap FormAir» можно использовать формулу (11). Но предварительно сравним теоретические данные и результаты, полученные экспериментально.

На рис. 2 показано распределение экспериментальных данных и результатов расчетов высоты холста при варьировании скорости вращения формирующего цилиндра и скорости движения ленты транспортера. На графике наблюдается отклонение значения высоты холста, полученное теоретически, в сравнении с экспериментальными данными. Судить о величине отклонения можно

по результатам, представленным в табл. 1. Необходимо отметить, что максимальная скорость транспортера составляет 15 м/мин – это обозначило верхний предел значений таблицы.

Как видно из данных табл. 1, разница значений высоты холста от варьируемых параметров работы машины «Lap FormAir» составила 0.8. Это связано с различной объемной плотностью на каждом из этапов формирования холста. Следовательно, формула (11) примет вид:

$$h = \frac{W_z(D-d)a}{2 \cdot 3600 v_{тр} 0,8} \tag{19}$$

Разницу значений высоты обозначим λ – это коэффициент, учитывающий степень уплотнения продукта на стадиях технологического процесса формирования нетканых материалов, тогда

$$h = \frac{W_z(D-d)a}{2 \cdot 3600 v_{тр} \lambda} \tag{20}$$

Для прогнозирования высоты холста рекомендуется использовать данные табл. 2.

Полученная математическая зависимость (20) может быть использована при проектировании нетканых материалов в процессе формирования холста, при регулировании параметров работы оборудования, а именно скорости вращения формирующего цилиндра и скорости движения ленты транспортера.

Библиографический список

1. *Зими́на Е. Л., Панкевич Д. К., Горячева С. М.* // Вестник Витебского гос. технол. ун-та. 2019. № 1(36). – С. 128.
2. *Зими́на Е. Л., Коган А. Г., Ольшанский В. И.* Технологические и теоретические основы получения материалов с использованием текстильных отходов: монография. – Витебск: ВГТУ, 2019. – 230 с.
3. *Оgawa Masanori, Ito Kuninori, Hirano Morimichi.* Огнестойкий волокнистый материал. Flame-retardant sheet and formed article therefrom: заявка № 1669490 ЕПВ, МПК 7 D 06 M 11/74, D 06 M 11/79 / Nagoya Oilchemical Co., Ltd. Заявл. 20.08.2004. Оpubл. 14.06.2006.
4. *Глобин А. Н., Краснов И. Н.* Дозаторы: монография. – зерноград: ВПО Азово-Черномор. гос. агроинж. акад. 2012. – 348 с.