4. Севостьянов, А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности : учебник для вузов / А. Г. Севостьянов. – Москва : Легкая индустрия, 1980. – 392 с.

SUMMARY

New method for determining of mixing irregularity index is offered. Formula for calculation this index is developed. The simulation of cotton/polyester yarn using testing by specially designed program confirms the possibility of using this formula for calculating of mixing irregularity index.

Developed method allows to evaluate the effectiveness of fibrous blend processing and to make adjustments in technology of blended yarn production.

УДК 677.022.484.9:533.6

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.В. Сех, В.И. Ольшанский

Разработка новых видов текстиля и декоративных материалов для разных отраслей промышленности в настоящее время является весьма перспективным направлением деятельности в экономически развитых странах мира.

Комбинации различных сырьевых компонентов, всевозможных связующих и добавок, применение высокотехнологичных способов производства позволяют создавать многослойные материалы с широчайшим спектром свойств. Многослойные материалы встречаются практически во всех областях техники и быта.

Анализ мирового промышленного производства текстильных материалов показал, что постоянное расширение сферы производства многослойных декоративных материалов объясняется спецификой состава, широтой их использования, особенностью свойств.

Многослойные текстильные материалы целесообразно получать с использованием имеющегося на предприятиях Республики Беларусь оборудования с незначительной модернизацией, используя классические технологии получения композиционных материалов. Значительный экспериментальный и теоретический опыт исследований данных технологических процессов позволяет использовать его при получении многослойных текстильных материалов декоративного назначения.

Основным технологическим процессом в производстве многослойных декоративных материалов является процесс аэродинамического транспортирования и осаждения волокнистых либо мелкодисперсных частиц и процесс взаимофиксации слоев [1].

В лаборатории кафедры “ПНХВ” УО “Витебский государственный технологический университет” разрабатывается технология получения многослойного декоративного материала аэродинамическим способом формирования и параллельно идет разработка экспериментальной установки для получения декоративного материала с деформированной поверхностью при помощи аэродинамического механизма с вертикальной подачей воздуха.

Суть аэродинамического способа формирования многослойного материала заключается в изменении влажной поверхности материала с помощью вертикально подаваемых потоков воздуха. На подложку (это может быть как бумага, так и ткани) наносится жидкий полимерный материал слоем не более 1 – 3 мм, далее полученная основа проходит через устройство с вертикальной подачей воздуха,

Витебский государственный технологический университет

где материал под действием потоков воздуха изменяет свой верхний слой. В сушильной установке происходит процесс термофиксации полученных слоев и удаление влаги из многослойного полотна. Материал приобретает рельефную текстуру.

Основной целью является определение основных параметров круглой и плоской струй, вертикальной силы потока воздуха на жидкую преграду и волновых сил, способствующих смешиванию и растеканию жидкого слоя материала.

При разработке аэродинамического способа формирования многослойного декоративного материала рассматривались следующие конструкционные свойства:

1. Закон формирования турбулентной затопленной струи.
2. Действие турбулентной затопленной струи на преграду в виде материала с нанесенным жидким слоем.
3. Волновое расхождение материала под действием потоков воздуха.

Рассмотрим струйное течение газа, которое широко применяется в системах вентиляции, воздушных завес, турбинах и т.д.

Рассчитаем основные начальные параметры турбулентной затопленной струи.

Одной из важных обобщающих характеристик струи является автомодельность ее поперечных профилей скорости, температуры и концентрации.

Основными параметрами, характеризующими турбулентную струю, являются осевая скорость $\boldsymbol{\omega}$, диаметр $\boldsymbol{D}$ для круглых и ширина $\boldsymbol{b}$ для плоских струй, расход воздуха $\boldsymbol{Q}$ и скорость $\boldsymbol{v_0}$.

Основные параметры затопленной струи можно определить по следующим формулам [2,3].

Расстояние x_0 от полюса до выходного отверстия:

круглая струя

$$\boldsymbol{x_0 = 0,15 d_0 / a}, \quad (1)$$

плоская струя

$$\boldsymbol{x_0 = 0,41\, b_0 / a}, \quad (2)$$

где $\boldsymbol{d_0}$ – диаметр отверстия или насадки;

$\boldsymbol{a}$ – коэффициент турбулентности;

$\boldsymbol{b_0}$ – половина высоты устья плоской насадки;

Длина начального участка $\boldsymbol{x_н}$ струи:

круглой

$$\boldsymbol{x_н = 0,335\, d_0 / a}, \quad (3)$$

плоской

$$\boldsymbol{x_н = 1,03\, b_0 / a}\ . \quad (4)$$

Осевая скорость $\boldsymbol{\omega}$ в основном участке на расстоянии $\boldsymbol{x}$ от полюса струи:

круглой

$$\boldsymbol{\omega = \frac{0{,}48 d_0 v_0}{ax + 0{,}145 d_0}}, \quad (5)$$

плоской

$$\boldsymbol{\omega = \frac{1{,}2 v_0}{\sqrt{\frac{ax}{b_0} + 0{,}41}}}. \quad (6)$$

Для определения начальной скорости $\boldsymbol{v_0}$ в формуле (5) и (6) воспользуемся формулой Сен – Вентцеля, которая принимает следующий вид:

Витебский государственный технологический университет

$$v_0 = \sqrt{\frac{2k}{k-1}\frac{p_0}{\rho_0}\left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}, \quad (7)$$

где коэффициент k равен 1,4 для воздуха.

В аэродинамике за стандартный газ принимают сухой атмосферный воздух, взятый в нормальных физических условиях (t = 0 °С и p = 10^5 Па) или в стандартных физических условиях (t = 20 °С и p = 10^5 Па).

Статическое давление в разных точках струи изменяется несущественно и приблизительно равно давлению в окружающем пространстве, т.е. сводную струю можно считать изобарической.

p_0 = 4×10^5 Па – начальное давление,

p = 10^5 Па – давление на выходе.

Плотность воздуха ρ_0 определяется по следующей формуле:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{RT_0}, \quad (8)$$

где R = 287,14 Дж/(кг·К) [2,3].

T_0 – температура потока, равная 293 К.

Влияние сжатия струи, потерь давления и других факторов учитывается, как и при истечении несжимаемой жидкости, введением коэффициента φ. [2] Тогда формулу для нахождения начальной скорости потока можно записать в следующем виде:

$$v_0 = \varphi\sqrt{\frac{2k}{k-1}\frac{p_0}{\rho_0}\left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}, \quad (9)$$

где φ – коэффициент скорости, равный 0,82.

Расход воздуха Q в основном участке на расстоянии x от полюса струи:

круглой

$$Q = 4,36Q_0\left(\frac{ax}{d_0} + 0,145\right); \quad (10)$$

плоской

$$Q = 1,2Q_0\sqrt{\frac{ax}{b_0} + 0,41}, \quad (11)$$

$$Q_0 = v_0\omega_0\,, \quad (12)$$

где ω_0 – площадь отверстия сопла.

Средняя скорость в основном участке струи:

круглой

$$v_{\text{ср}} = \frac{0,095v_0}{\frac{ax}{d_0}+0,145}, \quad (13)$$

плоской

$$v_{\text{ср}} = \frac{0,492v_0}{\sqrt{\frac{ax}{b_0}+0,41}}. \quad (14)$$

Витебский государственный технологический университет

Диаметр круглой струи в основном участке на расстоянии x от полюса

$$D = 6,8d_0\left(\frac{ax}{d_0} + 0,145\right). \quad (15)$$

Высота плоской струи

$$b = 4,8b_0\left(\frac{ax}{b_0} + 0,41\right). \quad (16)$$

Как показали теоретические и экспериментальные исследования Г.Н. Абрамовича [4], основные параметры струи зависят от коэффициента турбулентности a, характеризующего интенсивность перемешивания и зависящего от конструкции насадки, из которой вытекает струя. Чем больше коэффициент турбулентности, тем интенсивнее перемешивание и больше угол одностороннего расширения струи β.

Рассмотренные параметры затопленной струи, исходящей из круглого отверстия, можно применить к расчетам осесимметричной и плоской струй.

Эта струя образуется при истечении из сопла, круглого отверстия, открытого торца трубы и т.д. [4].

Расчет основных параметров, характеризующих турбулентную струю (расстояние от полюса до выходного отверстия x_0, длина начального участка струи $x_н$, осевая скорость ω, диаметр D для круглых и ширина b для плоских струй, расход воздуха Q и средняя скорость $v_{ср}$ в основном участке струи), приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные параметры затопленной струи

Круглая струя					
d_0, м	x_0, м	$x_н$,м	ω, м/с	D, м	$v_{ср}$, м/с
0,05	0,11	0,24	215,6	0,37	41,93
0,1	0,21	0,48	329,8	0,44	65,26
0,15	0,32	0,76	399,9	0,54	79,35
Плоская струя					
b_0, м	x_0, м	$x_н$,м	ω, м/с	b, м	v, м/с
0,05	0,21	0,52	392	0,44	160,72
0,1	0,41	1,03	419,8	0,63	188,67
0,15	0,62	1,55	460	0,83	200,9

Рассмотрим действие потока воздуха на преграду в виде материала с нанесенным жидким слоем под действием потоков воздуха, чтобы выяснить, как происходит перемещение потоков воздуха по поверхности материала, как изменяется жидкий слой полотна, возможно ли получить рельефную текстуру, используя аэродинамические законы.

Элементарные силы, действующие на поверхность материала, суммируясь, образуют систему сил, которая в наиболее общем случае может быть приведена к главному вектору и паре сил, образующих главный момент относительного центра приведения (рис.1).

Витебский государственный технологический университет

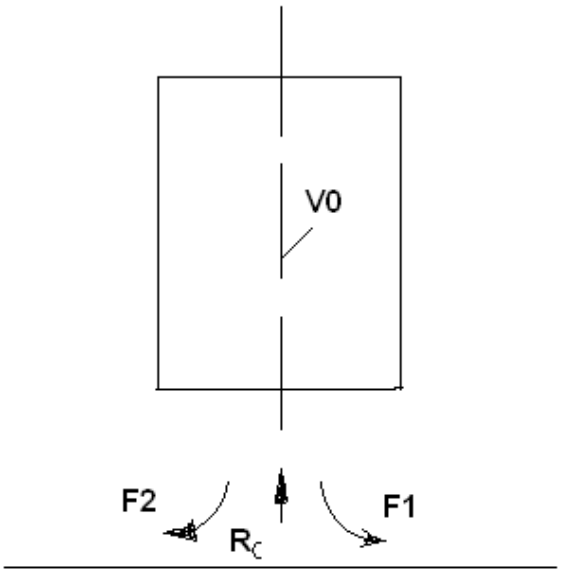


Рисунок 1 – Рисунок распределения сил потоков воздуха, действующих на поверхность материала

При контакте струи с твердой поверхностью происходит растекание потока и, соответственно, растекание действующих сил. Это приводит к растеканию жидкого материала за счет сил потока, обозначенных на рис. 1 как $\boldsymbol{F_1}$ и $\boldsymbol{F_2}$. Вертикально направленная сила создает волновое движение жидкого слоя материла на основе акрила [5,6].

$\boldsymbol{F_1}$ и $\boldsymbol{F_2}$ – силы, действующие вдоль поверхности материала и вызывающие волновое течение жидкого слоя.

$\boldsymbol{R_c}$ – сила сопротивления материала.

$\boldsymbol{F_1 = F_2 = R_c}$

$$\boldsymbol{R_c = \rho v_0^2 f}, \tag{17}$$

где $\boldsymbol{f}$ – площадь круглого отверстия, $\boldsymbol{f = \pi d^2/4}$,

$\boldsymbol{v_0}$ – начальная скорость потока воздуха на выходе с отверстия либо насадки.

$$\boldsymbol{R_c = \rho v_0^2 \frac{\pi d^2}{4}}\ . \tag{18}$$

Плотность воздуха $\boldsymbol{\rho}$ рассчитаем по формуле (8).

При взаимодействии вертикально подаваемых потоков воздуха с жидкой основой материала происходит расслоение материла. Воздух насквозь проходит жидкую основу материала и заставляет ее растекаться, смешиваться до момента действия силы давления потока. Необходимо рассчитать скорость распространения жидкой основы материала под действием сил давления воздуха, также можно определить скорость движения жидкости на определенной глубине слоя, рассматривая значение глубины $\boldsymbol{H}$ интервально.

Рассмотрим закон трения в жидкости по Ньютону, который имеет следующий вид:

$$\boldsymbol{F = -\mu f \frac{du}{dn}}, \tag{19}$$

Витебский государственный технологический университет

где du/dn – градиент скорости, который выражаем для рассматриваемого случая через $dv/d\mathrm{H}$,

v – скорость потока воздуха,

H – глубина жидкого слоя материала; тогда формула (12) приобретает следующий вид:

$$F_{\text{тр}} = -\mu f \frac{dv}{dH}, \tag{20}$$

Значения силы сопротивления $R_{\text{с}}$ приравняем к $F_{\text{тр}}$ и получаем следующее выражение:

$$R_{\text{с}} = -\mu f_{\text{с}} \frac{dv}{dH}, \tag{21}$$

где $f_{\text{с}}$ – площадь рассматриваемого сечения расслоенного материала, значение площади $f_{\text{с}}$ находим по следующей формуле: $f_c = bl$,

где b – ширина слоя, равная 0,3 м,

l – длина слоя, равная 0,15 м,

μ – коэффициент динамической вязкость жидкости, Н·с/м^2. При t = 20 ^{0}С динамический коэффициент вязкости акрила в системе СИ равен 0,00101 Н·с/м^2 [2,3].

Тогда формула приобретает следующий вид:

$$-\frac{R_{\text{с}} dH}{\mu bl} = dv, \tag{22}$$

$$-\frac{R_c h_i}{\mu bl} + C = v_i. \tag{23}$$

Растекание жидкости под действием сил давления воздуха происходит послойно. Для определения значений интервальной скорости v_i на определенной глубине вводится параметр h_i – интервал глубины слоя, равный значениям 0, 0,1H; 0,2H; 0,3H до H. Если h_i = H, то значение v_i = 0 – минимальное значение скорости, максимальное значение скорости наблюдаем при h_i = 0.

$$v_i = \frac{R_{\text{с}}(H - h_i)}{\mu bl}. \tag{24}$$

Расчет параметров устройства и силы, действующий на жидкую основу материала, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет параметров устройства и сил, действующих на жидкую основу материала

d, м	f, м^2	ρ, кг/м^2	$R_{\text{с}}$, Н
0,05	0,00196	1,19	4,1
0,1	0,00785	1,19	39,78
0,15	0,01766	1,19	132,78

Далее взаимодействие потоков воздуха с жидкой основой материала приводит к волновому растеканию жидкости под действием силы давления воздуха.

Рассмотрим волновое движение жидкой основы материала под действием сил давления воздуха.

Витебский государственный технологический университет

В общем случае на характеристики волн влияет полная глубина жидкости $\boldsymbol{H}$. В волне, имеющей вид $\boldsymbol{\omega = k\sqrt{gH}}$, фазовая и групповая скорости равны одной и той же величине, не зависящей от частоты:

$$\boldsymbol{v = \sqrt{gH}}. \quad (25)$$

Из формулы видно, что при увеличении значений глубины $\boldsymbol{H}$ соответственно будут увеличиваться фазовая и групповая скорости. Значения глубины при теоретических и экспериментальных расчетах принимали $\boldsymbol{H}$ = 3 мм.

Волны меньшей длины называются капиллярными, а более длинные – гравитационными, на их распространение влияют силы поверхностного натяжения и тяжести. Для гравитационных волн фазовая скорость $\boldsymbol{v_ф}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$\boldsymbol{v_ф = 2v_{гр} = g/\omega}. \quad (26)$$

Из этой формулы можно определить угловую частоту $\boldsymbol{\omega}$ и волновое число $\boldsymbol{k_в}$:

$$\boldsymbol{\omega = v_ф/g}, \quad (27)$$

$$\boldsymbol{k_в = v_ф/\omega}. \quad (28)$$

Величины $\boldsymbol{\omega}$ и $\boldsymbol{k_в}$ связаны дисперсионным уравнением (30):

$$\boldsymbol{\omega = \sqrt{gk_в + \frac{\sigma k_в^2}{\rho}}}, \quad (29)$$

где $\boldsymbol{\rho}$ – плотность жидкости, кг/ м^3,

$\boldsymbol{g}$ – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с^2,

$\boldsymbol{\sigma}$ – коэффициент поверхностного натяжения. Поверхностное натяжение полимерных материалов: от 18 – до 50 мН/м, для акрила: 35 – 40 мН/м [5].

Поверхностное натяжение $\boldsymbol{\sigma}$ жидкости обусловливается силами взаимного притяжения молекул поверхностного слоя, стремящихся сократить свободную поверхность жидкости. Влияние поверхностного натяжения приходится учитывать при работе с жидкостными приборами для измерения давления, при истечении жидкости из малых отверстий, при фильтрации и при образовании капель в сводных струях. При определении сил, действующих на жидкую поверхность, также следует учитывать поверхностное натяжение $\boldsymbol{\sigma}$.

Из формул 26 – 28 определяются фазовая скорость ($\boldsymbol{v_ф = \omega/k_в}$), с которой движется точка с фиксированной фазой, и групповая скорость ($\boldsymbol{v_{гр} = d\omega/dt}$ – скорость движения энергии).

При взаимодействии потока направленного воздуха с жидкой основой происходит эффект волнового движения жидкости, существование которого связано с изменением формы ее границы и формируется благодаря действию сил тяжести и поверхностного натяжения. Если какое–либо внешнее воздействие (например, поток направленной струи воздуха) нарушает равновесие жидкости, то указанные силы, стремясь восстановить равновесие, создают движения, передаваемые от одних частиц жидкости к другим, порождая волны. При этом волновые движения охватывают всю толщину жидкой основы. Простейший вид таких волн – плоская синусоидальная волна, в которой поверхность жидкости синусоидальна в одном направлении, а все возмущения физических величин, направление вертикального смещения частиц $\boldsymbol{\xi(z, x, t)}$ имеют следующий вид:

Витебский государственный технологический университет

$$\xi = A(z)cos(\omega t - k_в z), \quad (30)$$

где z – вертикальная координата, м;

ω – угловая частота, м/с;

$k_в$ – волновое число, рад/м;

A – амплитуда колебания частиц, зависящая от глубины z, м.

t – координата по времени, с.

Используем уравнение гидродинамики несжимаемой жидкости для расчета радиусов частиц жидкости [7]:

$$A(z) = A_0 e^{-k_в z}, \quad (31)$$

где A_0 – амплитуда смещения поверхности.

При этом каждая частица жидкости движется по окружности, радиус которой равен $A(z)$ (рис. 2а). Колебания затухают в глубине жидкости по экспоненте, и чем быстрее, тем короче волна (больше $k_в$). Для того чтобы проверить, как изменяются значения $A(z)$ на глубине, необходимо z разложить на составляющие: $z_n = 0,1\ H$; $0,2\ H$; $0,3\ H$ до H, чтобы определить величину $A(z)$ на каждом интервале и проанализировать полученные результаты. Расчетные данные указывают на то, что с увеличением z уменьшается $A(z)$ и движение частиц в длинной волне происходит по эллипсам, сильно вытянутым в горизонтальном направлении, причем амплитуда горизонтальных движений частиц почти одинакова по всей глубине (рис. 2 б). Движение волны происходит до момента действия сил давления потоков воздуха [7].

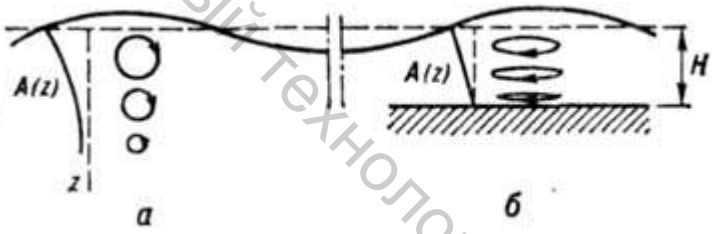


Рисунок 2 – Траектория движения частиц воды в синусоидальной волне:
а – на глубокой, б – на мелкой воде

Расчетные значения радиусов частиц на разной глубине слоя $A(z)$:

$$A(z)_1 = 0,00299 \text{ м};$$
$$A(z)_2 = 0,00298 \text{ м};$$
$$A(z)_3 = 0,00297 \text{ м}.$$

Данные результаты показывают, что потоки воздуха насквозь проходят через жидкий слой материала, и за счет силы потока формируется волновое растекание жидкой составляющей материала до момента затухания. Полученные значения $A(z)$ показывают, что на маленькой глубине (3 мм) амплитуда горизонтальных движений частиц почти одинакова по всей глубине.

Теоретические исследования аэродинамических законов, использующихся при разработке устройства для подачи воздуха, проводились с целью определения основных параметров турбулентной струи (осевая скорость ω, диаметр D для круглых и ширина b для плоских струй, расход воздуха Q и скорость $v_{ср}$), сил давления воздуха, действующих на жидкий слой материала и траекторий частиц в синусоидальной волне.

Витебский государственный технологический университет

ВЫВОДЫ

В результате теоретических исследований доказано, что под действием силы давления потока воздуха происходит смешивание жидкого слоя материала, изменение поверхностного слоя, механическое создание рельефа за счет волновых процессов, происходящих в результате действия устройства для подачи воздуха.

Список использованных источников

1. Кулаженко, Е. А. Использование текстильных отходов при производстве многослойных материалов на тканой основе / Е. А. Кулаженко, А. Г. Коган // Вестник ВГТУ. Пятнадцатый выпуск / УО “ВГТУ”. – Витебск, 2008. – 84 с.
2. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика : учебн. пос. для вузов / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселев. – Москва : Стройиздат, 1975. – 323 с.
3. Примеры расчетов по гидравлике : учебн. пос. для вузов / под ред. А. Д. Альтшуля. – Москва : Стройиздат, 1977. – 255 с.
4. Калицун, В. И. Основы гидравлики и аэродинамики : уч. пособие для колледжей и техникумов / В. И. Калицун [и др.]. – 2–е изд., перераб. и доп. – Москва : – Стройиздат, 2001 – 296 с.
5. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ / под ред. В. В. Гезеева. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 608 с.
6. Безруков, Ю. Ф. Океанология. Часть II. Динамические явления и процессы в океане / Ю. Ф. Безруков. – Симферополь : Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, 2006. – 123 с.

SUMMARY

Method of producing of multilayered decorative material by aerodynamic way of formation by using the experimental set – up is developed.

As a result of theoretical research the key parameters a turbulent stream are defined, wave processes are investigated.

УДК 677.022.668

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ТЕРМОСКРЕПЛЕНИЯ

Н.В. Скобова, И.В. Коркенец

Производство нетканого материала в последнее время является одним из наиболее перспективных направлений в текстильной индустрии. Это связано с коротким циклом изготовления от исходного сырья до готовой продукции и возможностью производить с небольшими затратами широкий ассортимент материалов как бытового, так и технического назначения. Особенно актуально с экономической точки зрения использовать нетканые материалы для изготовления изделий медицинского назначения (одноразовые пеленки, халаты, бахилы, шапочки; гигиенические полотна для подгузников и т. д.). На сегодня это наиболее востребованная продукция в хирургических отделениях больниц и в медицинских диагностических центрах.

Специалистами Светлогорского РУП «СПО “Химволокно”» разработана технология получения нетканого материала на установке нового поколения «SpunJet», позволяющей получать полотно из комплексных полипропиленовых нитей двумя способами: гидроскреплением и термоскреплением. В зависимости от назначения нетканого полотна выбирают способ скрепления комплексных полипропиленовых волокон в структуре формируемого материала.

Витебский государственный технологический университет