

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ УСТРОЙСТВА ВОЛОКНООБРАЗОВАНИЯ

Б. А. Сентяков, К. П. Ширококов, В. М. Святский

Статья посвящена инженерному расчету средней скорости воздушного потока в устройстве волокнообразования для получения материалов способом вертикального раздува воздухом. Приводится расчетная схема устройства, дается расчет средних скоростей в трех характерных сечениях для различных значений параметров данного устройства.

Ключевые слова: устройство волокнообразования, распределение скорости воздуха, волокнистые материалы.

Введение

Технический прогресс в различных отраслях народного хозяйства определяется качеством машин и агрегатов, реализующих различные технологические процессы, и характеризуется качеством выпускаемой продукции. Качество и себестоимость производства любых изделий во многом зависят от материалов, из которых они изготовлены.

Волокнистые материалы находят широкое применение в различных технических областях. В частности, такие материалы используются для теплоизоляции различных видов энергетического и транспортного оборудования, зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения. Также они являются хорошей звукоизоляцией [1].

Создание новых прогрессивных технологий, высокопроизводительных машин и оборудования, позволяющих сократить затраты на производство волокнистых материалов и получить при этом материал требуемого качества, в настоящее время является актуальной проблемой.

Один из технологических процессов производства волокнистых материалов из минерального и термопластичного сырья заключается в получении вертикально падающей струи расплавленного материала с последующим ее раздувом потоком сжатого воздуха [2]. Такая технологическая схема имеет ряд достоинств по сравнению с известными способами изготовления волокнистых материалов. Преимущество, прежде всего, состоит в том, что все переходы от загрузки сырья до выхода готовой продукции осуществляются на одном агрегате, при этом обеспечивается высокая производительность и хорошее качество получаемого материала.

Эффективность процесса образования элементарных волокон при реализации технологии вертикального раздува в значительной мере зависит от конструктивных особенностей устройства волокнообразования. Работа устройства определяет закон изменения воздушного потока в его рабочей зоне, который в свою очередь влияет на характер деформации струи расплавленного материала с последую-

шей вытяжкой элементарных штапельных волокон. Однако есть необходимость дальнейшего совершенствования конструкции устройства волокнообразования, определяющее во многом качественные характеристики конечных изделий.

Задачей данной работы являлось определение закономерности изменения средней скорости воздушного потока в рабочей зоне устройства волокнообразования в его характерных сечениях.

Материалы и методика расчета

Среди различных известных конструкций устройств для получения волокнистых материалов способом раздува наибольший интерес представляют устройства с кольцевым сходящимся соплом [2, 3]. При использовании таких технических решений струя расплавленного материала проходит через центральное отверстие, вокруг которого размещено кольцевое сходящееся сопло, и основная часть энергии воздушного потока, истекающего из такого

сопла, расходуется на расщепление струи расплавленного материала на элементарные волокна. При этом эффективность процесса волокнообразования и, как следствие, качество получаемого материала во многом зависит от скорости воздушного потока, который направляется устройством волокнообразования.

Устройство, схема которого представлена на рис. 1, состоит из двух основных конструктивных элементов: верхнего 1 и нижнего 2. Они образуют между собой кольцевую полость 3 для подвода сжатого воздуха, сходящийся кольцевой зазор 4 и диффузор 5. Струя расплавленного материала поступает через центральное отверстие 7 в элементе 1 в рабочую зону устройства 6 и под действием сил со стороны воздушного потока, истекающего из кольцевой полости устройства, деформируется на элементарные струйки с последующей вытяжкой элементарных волокон. На этом же рисунке представлен график $V(x)$, дающий вид распределения средней скорости воздушного потока в характерных сечениях устройства.

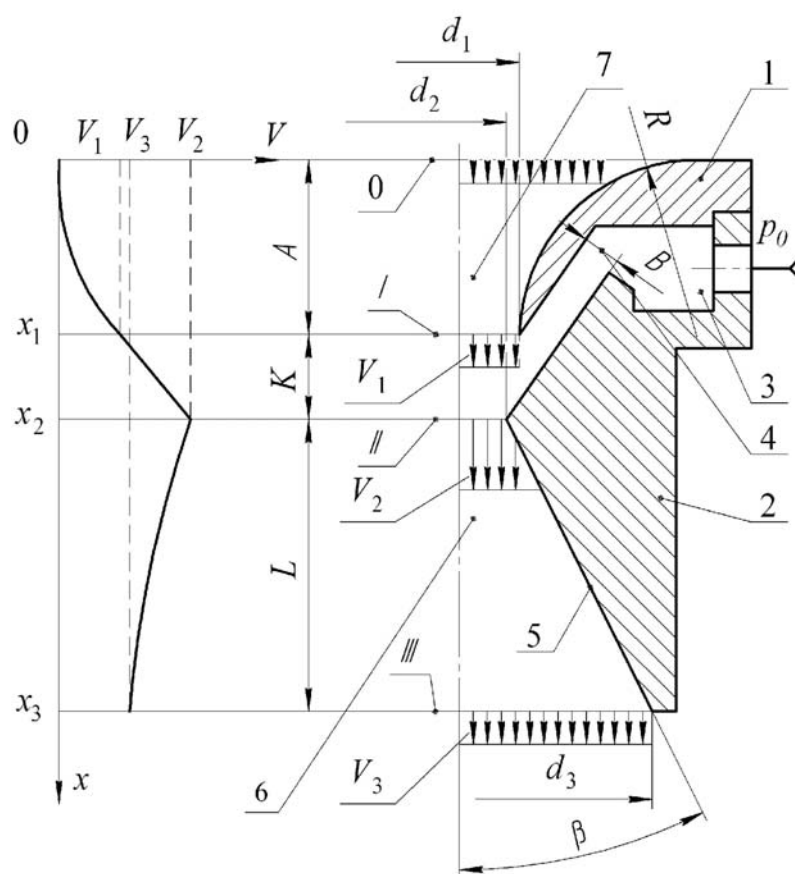


Рис. 1. Схема устройства волокнообразования
для получения волокнистых материалов способом вертикального раздува
и распределение средней скорости воздушного потока в характерных сечениях

При решении задачи определения средних по сечениям рабочей зоны скоростей воздушно-го потока было принято допущение о равномерном распределении скоростей по рассматриваемым сечениям.

При подаче в рабочую зону устройства расплавленного полиэтилентерефталата была подтверждена его работоспособность при избыточном давлении сжатого воздуха в пределах от 0,01 до 0,1 МПа [2], поэтому сжимаемостью воздуха и изменением его термодинамических параметров пренебрегаем.

Рассмотрим изменение средней скорости воздушного потока в характерных сечениях устройства. Положительным качеством рассматриваемой конструкции является интенсивное эжектирование воздуха из сообщаемого с атмосферой центрального отверстия 7 в элементе *I*.

Значения разрежения p_b , давления в кольцевой полости p_k и коэффициенты расхода воздуха μ_b и μ_k определяли экспериментально. Первоначально определялась величина разрежения p_b . Опыт проводился при закрытом атмосферном отверстии, что обеспечило максимальную величину разрежения.

В центральное отверстие герметично вставлялась трубка, соединенная с вакуумметром, через подводящий канал подавался сжатый воздух давлением p_k . Давление на входе в кольцевой полости p_k измеряли образцовым манометром с пределом измерения 0,4 МПа класса точности 0,6. Величину разрежения p_b измеряли тягонапорометром типа ТНМП-52 с пределом измерения 1250 мм.в.ст.

Коэффициенты расхода воздуха μ_b и μ_k определялись по величине расхода воздуха Q_b и Q_k , при значениях давления $p_k = 50\,000$ Па и $p_b = 6\,000$ Па. Величину расхода воздуха измеряли ротаметром типа РМ-04 с рабочим диапазоном измерения 0,75–4,3 м³/ч. При известных коэффициентах расхода воздуха можно определить величину расхода воздуха Q_b и Q_k при разных значениях давления p_k и p_b и, соответственно, скорость воздушного потока без проведения дополнительных экспериментов в заданном диапазоне геометрических и физических параметров процесса.

Управляемыми параметрами в устройстве волокнообразования для получения нужной скорости воздушного потока являются давление в кольцевой полости p_k и геометрические пара-

метры проточной части устройства (*B* и *K*).

Расход эжектирующего воздуха Q_b в сечении *I* через центральное отверстие устройства вычислим по формуле [4]

$$Q_b = 0,25 \mu_b \pi d_1^2 (2p_b/\rho)^{0,5}, \quad (1)$$

где μ_b – коэффициент расхода профилированной части верхнего элемента *I*; d_1 – диаметр центрального отверстия, м; p_b – разрежение в центральном отверстии, Па; ρ_b – плотность воздуха, кг/м³.

Тогда средняя скорость воздушного потока V_1 (далее – скорость) в сечении *I* определяется как отношение расхода воздуха Q_b к площади этого сечения

$$V_1 = 4Q_b/\pi d_1^2, \text{ или } V_1 = \mu_b (2p_b/\rho)^{0,5}. \quad (2)$$

Если принять, что профиль рассматриваемого отверстия в плоскости, проходящей через ось устройства, выполнен по окружности радиусом *R*, то закон изменения скорости на данном участке при $0 \leq x < x_1$ (см. рис. 1) имеет следующий вид:

$$V_{x1} = V_1 d_1^2/(4t^2), \quad (3)$$

$$t = R + d_1/2 - [R^2 - (R - x)^2]^{0,5}.$$

Для определения осевой скорости в сечении *II* с учетом принятых выше допущений полагаем, что струя расплавленного материала, проходящая через рабочую зону устройства, не вызывает изменения сопротивления истечению воздушного потока. Заметим, что расход воздуха при его истечении через кольцевое сходящееся сопло Q_k шириной *B* определяется по формуле [4]

$$Q_k = \mu_k \pi B d_1 (2p_k/\rho)^{0,5}, \quad (4)$$

где μ_k – коэффициент расхода кольцевого сопла; *B* – ширина кольцевого зазора, м.

В этом случае скорость воздушного потока в сечении *II* V_2 найдем как отношение суммарного расхода к площади этого сечения:

$$V_2 = 4(Q_b + Q_k)/\pi d_2^2 \quad (5)$$

где d_2 – внутренний диаметр нижнего элемента.

Для упрощения расчетов будем считать, что увеличение скорости между сечениями *I* и *II* происходит по линейному закону. Тогда на участке осевой координаты *x* от x_1 до x_2 (где $x_1 = A$; $x_2 = A + K$), или $A < x < A + K$, скорость изменяется по закону

$$V_{x2} = V_1 - A(V_2 - V_1)/K + x(V_2 - V_1)/K. \quad (6)$$

В крайнем нижнем сечении *III* на выходе струи из диффузора скорость воздушного потока V_3 уменьшается вследствие увеличения

площади сечения и определяется следующим образом:

$$V_3 = V_2 d_2^2 / d_3^2, \quad (7)$$

$$d_3 = d_2 + 2L \operatorname{tg} \beta.$$

На участке между сечениями II и III при $A+K < x < L+A+K$ скорость воздушного потока вычисляем по формуле

$$V_{x3} = V_2 d_2^2 / [d_2 + 2(x - A - K) \operatorname{tg} \beta]^2. \quad (8)$$

Результаты расчета

Расчет скорости воздушного потока в характерных сечениях устройства осуществлялся при следующих исходных данных:

$d_1 = 0,0091$ м; $d_2 = 0,0095$ м;
 $d_3 = 0,023$ м; $A = 0,0126$ м;
 $B = 0,0003$ – $0,0006$ м; $K = 0,0062$ – $0,0069$ м;
 $L = 0,04$ м; $\beta = 10^\circ$; $\mu_b = 0,1$; $\mu_k = 0,8$;
 $p_k = 50\,000$ – $120\,000$ Па; $p_b = 6\,000$ – $21\,000$ Па.

Скорость воздушного потока в рабочей зоне устройства в его характерных сечениях была

рассчитана по формулам (3), (6) и (8). На рисунке 2 показаны результаты расчетов, дающие представление, как изменяется скорость воздушного потока в разных сечениях устройства волокнообразования в зависимости от геометрических и физических параметров процесса. В результате анализа полученных зависимостей установлено, что наибольшая скорость воздушного потока создается на нижнем срезе кольцевого сопла – именно на этом участке происходит деформирование струи расплавленного материала на элементарные струйки с последующей вытяжкой элементарных волокон. Ниже по течению воздушного потока происходит вытягивание элементарных волокон до такого наименьшего диаметра, при котором в результате их охлаждения температура уменьшается до температуры меньшей температуры плавления материала, и процесс волокнообразования прекращается. Вместе с тем следует

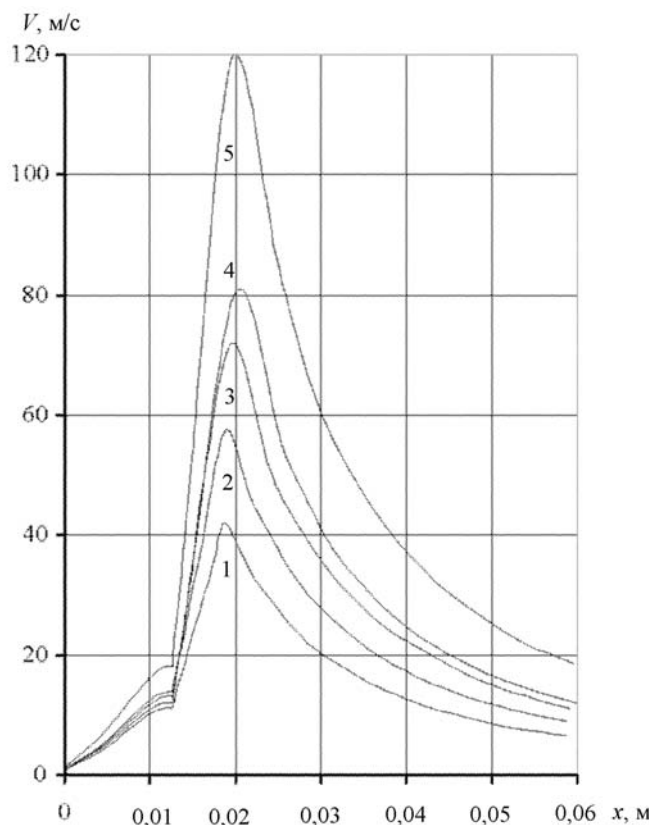


Рис. 2. Средняя скорость воздушного потока в характерных сечениях устройства волокнообразования:

- 1 – $p_k = 50\,000$ Па, $B = 0,0003$ м, $K = 0,0062$ м;
- 2 – $p_k = 100\,000$ Па, $B = 0,0003$ м, $K = 0,0062$ м;
- 3 – $p_k = 70\,000$ Па, $B = 0,00046$ м, $K = 0,0067$ м;
- 4 – $p_k = 50\,000$ Па, $B = 0,0006$ м, $K = 0,0069$ м;
- 5 – $p_k = 125\,000$ Па, $B = 0,0006$ м, $K = 0,0069$ м

отметить, что для разных исходных материалов, из которых получают элементарные волокна при реализации технологии раздува, существует своя рациональная скорость воздушного потока, при которой обеспечивается получение волокон требуемого качества.

Заключение

В настоящей работе представлены результаты расчета скорости воздушного потока в характерных сечениях волокнообразующего устройства для получения волокнистых материалов из минеральных и термопластичных расплавов при реализации технологии вертикального раздува. Результаты расчета позволяют объяснить закон изменения скорости воздушного потока в рабочей зоне устройства волокнообразования, который является определяющим при расчете среднего диаметра элементарных волокон. Кроме того, полученные результаты позволяют проводить дальнейшее совершенствование волокнообразующего устройства с получением требуемого среднего диаметра элементарных волокон. При практической реализации предложенного способа средний диаметр элементарных волокон составляет от 1–100 мкм. С увеличением скорости воздушного потока в рабочей зоне устройства диаметр элементар-

ных волокон уменьшается. Однако, с увеличением указанной скорости уменьшается температура истекающей струи расплавленного материала в зоне ее взаимодействия с потоком энергоносителя и при определенной скорости воздушного потока уменьшение диаметра элементарных волокон прекращается. Эта скорость может быть определена опытным путем.

Список литературы

1. Папков С.П. Теоретические основы производства химических волокон. – М.: Химия, 1990. – 272 с.
2. Технология и оборудование для производства волокнистых материалов способом вертикального раздува: Монография / А.И. Шияев, К.П. Широбоков, Б.А. Сентяков и др. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2008. – 248 с.
3. Дутьевая головка / Б.А. Сентяков, К.Б. Сентяков, Ф.Ф. Шайхразиев, К.П. Широбоков // Патент РФ № 2360871. МПК С03В 37/06. Оpubл. 10.07.2009. Бюл. № 19.
4. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 592 с.

Материал поступил в редакцию 26.05.2010

СЕНТЯКОВ Борис Анатольевич

E-mail: sentyakov@inbox.ru
Тел. +7 (34145) 5-16-17

Доктор технических наук, профессор, декан технологического факультета Воткинского филиала ГОУ ВПО Ижевского государственного технического университета (ИжГТУ). Сфера научных интересов – вихревые технологий в машиностроении и пневмоавтоматики. Автор более 150 научных работ.

ШИРОБОКОВ Константин Петрович

E-mail: vflab101@mail.ru
Тел. +7 (34145) 5-15-00

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения и приборостроения Воткинского филиала ГОУ ВПО ИжГТУ. Сфера научных интересов – технология получения волокнистых материалов из минеральных и термопластичных расплавов. Автор более 20 научных работ.

СВЯТСКИЙ Владислав Михайлович

E-mail: svlad-2000@rambler.ru
Тел. +7 (34145) 5-15-00

Аспирант очной формы обучения Воткинского филиала ГОУ ВПО ИжГТУ. Сфера научных интересов – технология получения волокнистых материалов из минеральных и термопластичных расплавов. Автор 5 научных работ.