

УДК 677.014-615.468

DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_164

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОРНЫХ ЧАСТИЦ
В ИЗОГНУТОЙ ЧАСТИ ТРУБОПРОВОДА ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ РАССОРТИРОВКИ ВОЛОКОН***

**THEORETICAL STUDIES OF THE PROCESS OF REMOVING ADVENTITIOUS IMPURITIES
IN THE CURVED PART OF THE PIPELINE OF FIBER SORTING EQUIPMENT**

*И.Г. ХОСРОВЯН¹, С.А. РОДИОНОВ¹, А.Г. ХОСРОВЯН¹
А.С. МКРТУМЯН², Г.А. ХОСРОВЯН¹*

*I.G. KHOSROVYAN¹, S.A. RODIONOV¹, A.G. KHOSROVYAN¹,
A.S. MKRTUMYAN², G.A. KHOSROVYAN¹*

*(Ивановский государственный политехнический университет¹,
ООО «К-ТЕКС»²)*

*(Ivanovo State Polytechnical University¹,
LLC «K-TEX»²)*

E-mail: khosrovyan_haik@mail.ru

В статье приводятся результаты теоретических исследований процесса удаления сорных примесей на закругленном участке трубопровода разработанного оборудования. Предложена методика и получена зависимость для определения смещения сорной частицы, которое происходит под воздействием центробежных и аэродинамических сил, возникающих благодаря движению волокнистой массы и форме трубопровода. Получено численное значение величины смещения сорной частицы и определен оптимальный расход воздуха для удаления сорных частиц.

The article deals with theoretical studies of the process of removing adventitious impurities in the developed equipment on a rounded section of the pipeline. A technique has been developed and a dependence obtained to determine the displacement of an impurity, which occurs under the influence of centrifugal and aerodynamic forces arising from the movement of the fibrous mass and the shape of the pipeline. The numerical value of the displacement of adventitious impurities was obtained and the optimal air flow rate for the removal of adventitious impurities was determined.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Департамента экономического развития и торговли Ивановской обл., проект № 20-43-370010 «Теория и технологии получения инновационных материалов для различных отраслей народного хозяйства с использованием льноволокна».

Ключевые слова: закругленный участок трубопровода, сорные частицы, центробежные силы, аэродинамические силы, смещение сорной частицы.

Keywords: rounded section of the pipeline, adventitious impurities, centrifugal forces, aerodynamic forces, displacement of adventitious impurities.

В технологическом процессе на этапе разрыхления, разволокнения волокнистой массы из котонизированных и/или регенерированных волокон, а также рассортировки волокон, их транспортировки важную роль играет своевременное удаление сорных примесей, выделяющихся из волокнистой массы [1], [2]. Поэтому при модернизации оборудования [3], [4], которое обеспечивает высокую степень разрыхления, рассортировки волокон и их очистки, большое внимание уделяется дополнительной очистке в зоне транспортировки комплексов волокон с содержанием сорных примесей для обеспечения значительного улучшения в дальнейшем процесса получения одиночных волокон [5], [6].

Выполнены теоретические исследования процесса удаления сорных частиц в изогнутой части трубопровода разработанного оборудования, представленные ниже.

Рассмотрим движение сорной частицы в закругленной части трубы прямоугольного сечения, а именно в области, прилегающей к внешней стенке трубы (рис. 1), где $|M_{Oт}| = R_0$, $|M_{Oт}, M| = \delta$, $|OM| = r$.

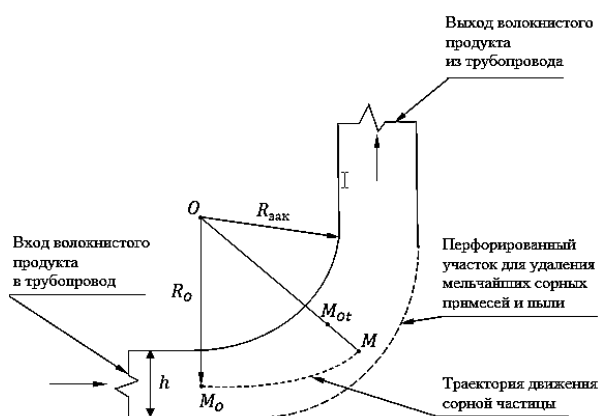


Рис. 1

Сорная частица начинает свое движение от точки M_0 . Расстояние от точки O до

M_0 составляет R_0 . При дальнейшем движении частица благодаря действию центробежных сил оказывается в точке M . Расстояние по радиусу от точки $M_{Oт}$ до точки M равно δ . Введем следующие обозначения: $v_{га}$ – средняя скорость воздуха в трубе; R_1, R_2 – внутренний и внешний радиусы закругления трубы; r – текущий радиус расположения центра массы сорной частицы; $v_{вит}$ – скорость витания сорной частицы; m – масса сорной частицы; h – высота канала; v_r – радиальная скорость сорной частицы.

Пренебрегая силой притяжения, считаем, что окружная скорость сорной частицы в каждой точке совпадает со скоростью воздушного потока. Центробежная сила, действующая на сорную частицу в трубопроводе в точке $r = R_0 + \delta$, выражается формулой

$$F_c = m \frac{v_{га}^2}{R_0 + \delta}. \quad (1)$$

Полагаем, что формулу (1) можно приближенно записать в виде

$$F_c = m \frac{v_{га}^2}{R_{зак} + h}. \quad (2)$$

Аэродинамическая сила, действующая на сорную частицу в трубопроводе по радиальному направлению, определяется по формуле

$$F_a = \frac{mgv_r^2}{v_{вит}^2}, \quad (3)$$

Движение сорной частицы по радиальному направлению трубопровода моделируется следующим уравнением:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{v_{га}^2}{R_{зак} + h} - \frac{gv_r^2}{v_{вит}^2}. \quad (4)$$

Так как

$$v_r = \frac{d\delta}{dt} \text{ и } dt = \frac{d\delta}{v_r}, \quad (5)$$

то

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{dv_r}{dt} = \frac{v_r dv_r}{d\delta} = \frac{dv_r^2}{2d\delta}. \quad (6)$$

Следовательно,

$$\frac{dv_r^2}{2d\delta} = \frac{v_{ra}^2}{R_{zak}+h} - \frac{gv_r^2}{v_{бит}^2} \quad (7)$$

или

$$\frac{dv_r^2}{d\delta} = \frac{2v_{ra}^2}{R_{zak}+h} - \frac{2gv_r^2}{v_{бит}^2}. \quad (8)$$

Обозначим

$$A = \frac{2v_{ra}^2}{R_{zak}+h}, \quad (9)$$

$$B = \frac{2g}{v_{бит}^2}. \quad (10)$$

Тогда уравнение динамики сорной частицы будет иметь следующий вид:

$$\frac{dv_r^2}{d\delta} = A - Bv_r^2. \quad (11)$$

Находим, что

$$\frac{dv_r^2}{A - Bv_r^2} = d\delta. \quad (12)$$

Интегрируем правую и левую части уравнения

$$\int_0^{v_r^2} \frac{dv_r^2}{A - Bv_r^2} = \delta \quad (13)$$

или

$$\frac{-1}{B} \int_0^{v_r^2} \frac{d(A - Bv_r^2)}{A - Bv_r^2} = \delta. \quad (14)$$

Следовательно,

$$\ln|A - Bv_r^2| - \ln A = -B\delta \quad (15)$$

или

$$\ln\left|1 - \frac{B}{A}v_r^2\right| = -B\delta. \quad (16)$$

Отсюда находим, что

$$1 - \frac{B}{A}v_r^2 = \exp(-B\delta), \quad (17)$$

и получаем в итоге, что

$$v_r^2 = \frac{A}{B}[1 - \exp(-B\delta)]. \quad (18)$$

Далее имеем, что

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{A}{B}} \sqrt{[1 - \exp(-B\delta)]}. \quad (19)$$

Так как $\exp(-B\delta) \ll 1$, то

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{A}{B}}. \quad (20)$$

Так как

$$\sqrt{\frac{A}{B}} = \sqrt{\frac{2v_{ra}^2}{R_{zak}+h} \frac{v_{бит}^2}{2g}} = \frac{v_{ra} v_{бит}}{\sqrt{g(R_{zak}+h)}}, \quad (21)$$

то

$$\delta = \frac{v_{ra} v_{бит} t}{\sqrt{g(R_{zak}+h)}} \quad (22)$$

Среднее время прохождения сорной частицы по закругленной части трубы определяется из соотношения:

$$t_{пов} = \frac{0,5\pi(R_{zak}+0,5h)}{v_{ra}}. \quad (23)$$

Следовательно, смещение сорной частицы за время поворота относительно точки О на угол $0,5\pi$ равно:

$$\delta_{пов} = \frac{v_{ra} v_{бит} t_{пов}}{\sqrt{g(R_{zak}+h)}} = \frac{0,5\pi v_{бит} (R_{zak}+0,5h)}{\sqrt{g(R_{zak}+h)}}. \quad (24)$$

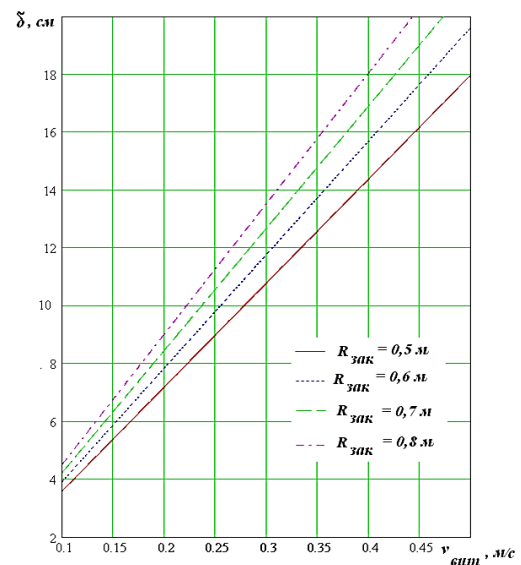


Рис. 2

На рис. 2 представлен график зависимости величины смещения δ сорной частицы от скорости ее витания при различных $R_{\text{зак}}$ ($h=0.2$ м).

Как следует из расчетов, с изменением скорости витания от 0,1 до 0,5 м/с отклонение сорных частиц за время их прохождения по изогнутой части трубы возрастает с 4 до 20 см.

Необходимо отметить, что смещение сорной частицы происходит под воздействием центробежных и аэродинамических сил, возникающих благодаря движению волокнистой массы и форме трубопровода.

В изогнутой части трубопровода, имеющей перфорированную поверхность, под воздействием пневмоотсоса смещенные сорные частицы легко захватываются и удаляются. Расход воздуха составляет 0,15-0,20 м³/с.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика и получена зависимость для определения смещения сорной частицы, которое происходит под воздействием центробежных и аэродинамических сил, возникающих благодаря движению волокнистой массы и форме трубопровода.

2. Получено численное значение величины смещения сорной частицы и определен оптимальный расход воздуха для удаления сорных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Математическое моделирование процесса очистки волокнистых материалов в разрыхлителе-очистителе // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4 (106). Ч. 1. С. 86...92.

2. Жукова А.А., Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Разработка технологии и оборудования для подготовки полуфабрикатов из текстильных отходов и вторичного сырья для изготовления композиционных текстильных материалов различного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. №6. С. 184...188.

3. Тувин М.А., Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Математическое моделирование аэродинамической рассортировки волокон в устройстве для получения многослойных нетканых материалов

// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. №6. С. 119...122.

4. Патент 2471897 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Хосровян Г.А., Хосровян А.Г., Красик Т.Я., Хосровян И.Г., Жегалина Т.В. – Оpubл. 10.01.2013.

5. Патент 2595992 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Г.А. Хосровян, Т.Я. Красик, М.А. Тувин, И.Г. Хосровян. – Оpubл. 05.08.2016.

6. Родионов С.А., Хосровян А.Г., Жукова А.А., Хосровян И.Г., Алешин Р.Р., Хосровян Г.А. Инновационные разработки теории и технологии производства одиночной и крученой пряжи с содержанием льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №4. С. 96...108.

REFERENCES

1. Khosrovyan A.G., Khosrovyan G.A. Mathematical modeling of the process of cleaning fibrous materials in a baking powder-cleaner // International Scientific Research Journal. 2021, 4 (106). Part 1. P. 86...92.

2. Zhukova A.A., Khosrovyan A.G., Khosrovyan G.A. Development of technology and equipment for the preparation of semi-finished products from textile waste and secondary raw materials for the manufacture of composite textile materials for various purposes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021, 6. P. 184...188.

3. Tuvin M.A., Khosrovyan I.G., Krasik T.Ya., Khosrovyan G.A. Mathematical modeling of aerodynamic sorting of fibers in a device for obtaining multilayer nonwoven materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2015, 6. P. 119...122.

4. Pat. 2471897 Russian Federation. A method for obtaining multilayer fibrous materials and a device for its implementation / G.A. Khosrovyan, A.G. Khosrovyan, T.Ya. Krasik, I.G. Khosrovyan, T.V. Zhegalina. – Published 01/10/2013.

5. Pat. 2595992 Russian Federation. A method for obtaining multilayer fibrous materials and a device for its implementation / G.A. Khosrovyan, A.G. Khosrovyan, T.Ya. Krasik, M.A. Tuvin, I.G. Khosrovyan. – Published 05/08/2016.

6. Rodionov S.A., Khosrovyan A.G., Zhukova A.A., Khosrovyan I.G., Aleshin R.R., Khosrovyan G.A. Innovative developments in the theory and technology of production of single and twisted yarn containing flax fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022, 4. P. 96...108.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники ИВГПУ. Поступила 19.07.23.