

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ХЛОПКОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПО ТРУБОПРОВОДАМ ПНЕВОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ

Каримов Нуриддин Махамаджонович

докторант,
Наманганский инженерно-технологический институт,
Республика Узбекистан, г. Наманган
E-mail: sidikov_akbarxon@mail.ru

Турсунов Иброхим Тургунович

ассистент,
Наманганский инженерно-технологический институт,
Республика Узбекистан, г. Наманган

Абдурахимов Комилжон Каримович

ст. преподаватель,
Наманганский инженерно-технологический институт,
Республика Узбекистан, г. Наманган

Саримсаков Олимжон Шарипжанович

д-р техн. наук, проф.,
Наманганский инженерно-технологический институт,
Республика Узбекистан, г. Наманган

STUDY OF THE MOVEMENT OF THE COTTON-AIR MIXTURE THROUGH THE PIPELINES OF THE PNEUMATIC TRANSPORT INSTALLATION

Nuriddin Karimov

Doctoral student,
Namangan Engineering-Technological Institute,
Republic of Uzbekistan, Namangan

Ibrohim Tursunov

Assistant,
Namangan Engineering-Technological Institute,
Republic of Uzbekistan, Namangan

Komiljon Abdurahimov

Senior Lecturer,
Namangan Engineering-Technological Institute,
Republic of Uzbekistan, Namangan

Olimjon Sarimsakov

Dr. Tech. sciences, prof.,
Namangan Engineering-Technological Institute,
Republic of Uzbekistan, Namangan

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено движение по трубопроводу с переменным поперечным сечением смеси воздуха с хлопком-сырцом как многоскоростная гетерогенная среда. Получены уравнения пористости хлопка, давления воздуха и скоростей компонентов.

ABSTRACT

In the article the movement through a pipeline with a variable cross-section of the air mixed with raw cotton like a multiple heterogeneous environments. Equations cotton porosity, air pressure and velocity components.

Ключевые слова: хлопок-сырец, воздушный поток, аэрозоль, трубопровод, пневмотранспортная установка.

Keywords: raw cotton, air flow, aerosols, pipeline, pneumatic transport installation.

Узбекистан является одной из северных хлопкосеющих стран мира и производит около 3 млн тонн хлопка-сырца в год. В республике действуют 98 хлопкоочистительных заводов различной мощности. Средняя мощность хлопкоочистительных заводов находится в пределах 30 тысяч тонн хлопка-сырца в год.

Период сбора хлопка в республике довольно короткий и продолжается около 2 месяцев, обычно сентябрь и октябрь, относительно теплые месяцы осени. С ноября в этом крае начинается сезон осадков и холода, что препятствует сбору урожая. Поэтому хлопкосеющие хозяйства планируют закончить сезон уборки урожая до ноября. Причем сбор хлопка в настоящее время осуществляют в основном вручную.

Переработка хлопка на хлопкоочистительных заводах длится до 10 месяцев согласно планам переработки. Поэтому технология переработки хлопка в Узбекистане предусматривает заготовку и длительное хранение хлопка до переработки. Для этого существуют хлопкозаготовительные пункты, где на определенной площади строят площадки высотой 40–50 см, размером 12×25 м. На каждой площадке образуют трапециевидные сваи или модули хлопка, запрессованные вручную, высотой 7–8 м, массой 350–450 тонн, покрывают сверху водонепроницаемым материалом (зачастую используют брезент). Эти сваи называют «бунт». Следует отметить, что образование бунта – очень тяжелая, трудоемкая работа, требующая определенных навыков и количества рабочих рук. В бунтах хлопок хранится до подхода очереди переработки, причем, исходя из состояния (влажности и температуры) хлопка, осуществляют технологический уход – рытье туннелей в бунтах, измерение температуры, проведение проветривания по мере надобности.

Согласно плану переработки по очередности бунт разбирают – снимают хлопок с бунта и подают на переработку. Разборку бунта осуществляют механически, с помощью специальной машины, называемой разборщиком бунта, или вручную. Ручная разборка бунта и подача хлопка на переработку тоже тяжелое, трудоемкое, занимающее 0,8 человека/час рабочей силы занятие. Поэтому, хотя при этом отсутствуют материальные и энергетические расходы и отрицательное влияние на качественные показатели сырья, производство предпочитает механический способ разборки бунта как более безопасный, современный и совершенный.

В настоящее время на хлопкоперерабатывающих предприятиях для транспортировки хлопка внутри предприятия, т.е. из хранилищ в производственные цеха, из одного цеха в другой, а также внутри цехов, применяют пневмотранспортные установки всасывающего типа. Такие установки отличаются простотой конструкции, возможностью приложения материалапровода вне зависимости от рельефа и состояния местности, использования в любых погодных условиях, а также возможностью создания внутри трубопровода избыточного давления, что способствует притягиванию не только материала, но и мелких

сорных примесей, выделяемые при контакте с хлопком, сохраняя санитарные условия в рабочих помещениях. Кроме того, исследованиями выявлены такие положительные свойства пневмоустановок, как возможность очистки и разрыхления хлопка при транспортировке с помощью потока воздуха. Несмотря на это, имеются и некоторые недостатки пневмотранспортных установок. К их недостаткам относятся большой расход воздуха и электроэнергии, а также отрицательное влияние на первоначальные качественные показатели транспортируемого хлопка. Для того чтобы повысить положительные, устранить или снизить отрицательные свойства пневмотранспорта, следует провести глубокие теоретические и прикладные исследования процесса пневмотранспортирования для раскрытия сущности данного процесса, установления факторов, определяющих эффективность данного процесса, и путем их управления добиться максимизации его положительных свойств. Настоящие исследования проводятся в целях изыскания возможностей снижения энергоемкости процесса и сохранения первоначального качества хлопка путем дальнейшего совершенствования процесса пневмотранспортирования.

При работе пневмотранспорта вентилятором внутри трубопровода создаются избыточное давление и поток воздуха, устремляющийся от горловины трубопровода к вентилятору. При этом поток воздуха будет иметь турбулентный режим [3], характеризующийся беспорядочностью течения, пульсационным изменением параметров и относительно высокой скоростью. Причем полное давление потока начиная с вентилятора в сторону горловины трубопровода постепенно снижается.

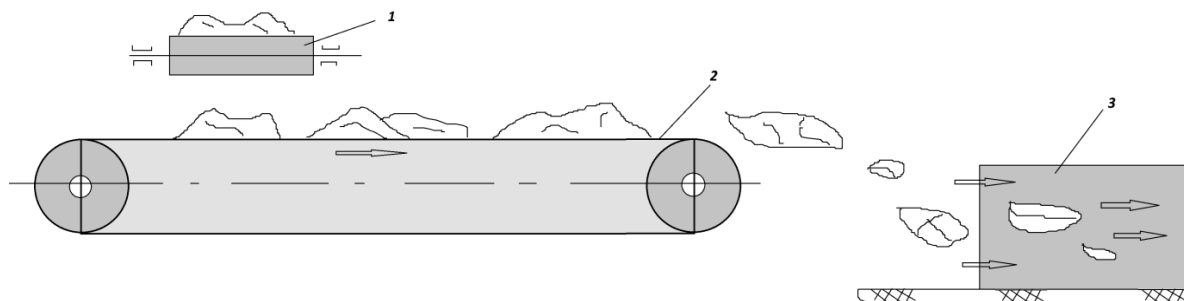
Основными причинами снижения полного давления в трубопроводе являются:

- 1) снижение статического давления потока за счет потерь на преодоление сил сопротивления трения воздуха о внутреннюю поверхность трубопровода;
- 2) снижение статического давления потока за счет потерь на преодоление местных сопротивлений (на фасонных частях воздухопровода);
- 3) снижение динамического давления за счет присосов воздуха снаружи через трещины, щели и пробоины в стенках и местах соединения трубопроводов.

Кроме того, происходит некоторое снижение плотности воздуха за счет его разрежения внутри трубопровода, что вызывает снижение динамического давления от горловины трубопровода к вентилятору. Это дает обратный эффект, т.е. увеличение динамического давления от вентилятора в сторону горловины трубопровода, и частично компенсирует величину снижения динамического давления за счет присосов воздуха.

Для гарантированной транспортировки воздуха имеет значение полное давление у горловины (т.е. в начале) трубопровода. С увеличением продолжительности, т.е. длины трубопровода, давление в горловине трубопровода снижается и доходит до такой критической величины $P_{кр}$, при которой транспортировка

обеспечивается, но при дальнейшем снижении транспортировка не гарантирована, т.е. происходит забой материала в горловине трубопровода. Расстояние от сепаратора до горловины трубопровода, где достигается $P_{кр}$ – критическое значение полного давления, называется радиусом действия пневмотранспорта,



1 – ленточный транспортер разборщика бунта; 2 – горизонтальный ленточный транспортер с 2 полосами; 3 – трубопровод пневмотранспорта

Рисунок 1. Схема экспериментальной установки, предназначенной для изучения процесса подачи хлопка в пневмотранспорт

Процесс подачи хлопка в пневмотранспорт заключается в следующем.

Разборщик снимает хлопок из бунта и наклонным ленточным транспортером 1 подает на горизонтальный ленточный транспортер 2, на поверхности которого образуется передвигающийся слой хлопка в сторону трубопровода пневмотранспорта 3, отрываясь от поверхности ленты, пролетает и попадает в зону действия воздушного потока, который увлекает хлопок за собой внутрь трубопровода 3.

С поступлением хлопка в трубопровод аэродинамический режим оборудования изменится. Появляется сила, которая втягивает материал в сторону движения воздуха, и за материалом образуется разрывание (аэродинамический след), которое тоже увлекает за собой воздух внутри трубы.

Большинство ученых считают, что только силы сопротивления двигают тело и моделируют параметры процесса только в зависимости от скорости воздуха. А скорость воздуха вызывает динамическое давление. То есть получается, что законы движения зависят только от динамического давления. Однако это давление – только меньшая часть полного давления. Большую часть полного составляет статическое давление, и оно активно участвует в организации процесса перемещения как воздуха, так и материала. Свидетельством сказанного является то, что вентиляторы с большим расходом воздуха и низким напором обладают меньшей транспортирующей способностью. Кроме того, существуют воздушные насосы, которые создают большой напор, но с меньшим расходом воздуха. Анализ показывает, что их транспортирующая способность тоже ограничена. Это свидетельствует о том, что для эффективной транспортировки материала требуется определенная величина напора и расхода воздуха, причем величину напора можно характеризовать статическим давлением, а величину расхода – динамическим.

т.е. максимальное расстояние, откуда транспортировка материала гарантирована.

Из хранилищ подачу хлопка в трубопровод осуществляют либо вручную, либо механически – с помощью горизонтального ленточного транспортера, который устанавливают параллельно линии передвижения разборщика хлопкового бунта (рис. 1).

Одним из основных показателей двухкомпонентной среды является ее объемная концентрация w и весовая концентрация μ . Объемная концентрация представляет собой относительный объем компонентов в общем объеме потока:

$$w = \frac{W_n}{W_n + W_x} \quad (1)$$

Массовая концентрация представляет собой относительные массы компонентов в воздушной трубе:

$$\mu = \frac{\sigma_n}{\sigma_x + \sigma_n} \quad (2)$$

где W_n – хлопок;

W_x – объем воздуха в воздуховоде, м³;

σ_n – хлопок;

σ_x – воздушные массы, поступающие в единицу времени – воздуха, кг/с.

Анализ точных цифр показывает, что при использовании вентилятора VS-12M со средней производительностью 10 тонн (или 2,78 кг/с) используется 6,0 м³ (или 7,2 кг/с) воздуха в секунду, принимая во внимание тот факт, что плотность хлопка после горелки $\rho_n = 37,8$ кг/м³, объемно-массовая концентрация при плотности воздуха $\rho_x = 1,2$ кг/м³:

$$w = (2,78 / 37,8) / (6 + 2,78 / 37,8) = 0,012 \text{ м}^3/\text{м}^3, \mu = 2,78 / (2,78 + 7,2) = 0,28 \text{ кг/кг.}$$

Эти показатели значительно ниже, чем те, которые используются в других отраслях, таких как переработка зерна, строительство, деревообработка и добыча полезных ископаемых.

Другим показателем двухкомпонентной среды является ее средняя плотность:

$$\rho = \rho_x + w \cdot (\rho_n - \rho_x) \quad (3)$$

Согласно вышеизложенному, средняя плотность смеси хлопка и воздуха в фактических значениях составляет:

$$\rho = 1,2 + (37,8 - 1,2) \cdot 0,012 = 1,64 \text{ кг/м}^3.$$

Как и любой проводник, пневматическая трубка имеет определенную грузоподъемность, которая определяет производительность всей пневматической системы.

Мы анализируем поведение двухкомпонентной среды, состоящей из смеси кусочков воздуха и хлопка в начале трубопровода (рис. 1).

Смесь воздуха с частицами волокнистой массы принимаем гетерогенной смесью, для описания движения которой можно использовать теорию многоскоростных систем, предложенную в работе Х.А. Рахматуллина [3]. Гетерогенные смеси, как правило, описываются многоскоростной моделью с учетом динамических эффектов, возникающих из-за несовпадения скоростей отдельных фаз. При этом воздух считаем идеальной жидкостью, и внутреннюю силу взаимодействия определяем через нормальное давление $p(x)$, которое является общим для всей смеси, противоположно направленное движению частиц волокнистой среды. Установим начала координат в начальном сечении трубопровода. Направим ось $0x$ по оси трубопровода, площадь сечения которого меняется по закону $S = s(x)$; считая процесс стационарным, обозначаем через $u_0(x)$, $u_1(x)$ соответственно скорость воздуха (индексом -0) и частиц хлопка-сырца массы (индексом -1) в произвольном сечении трубопровода. Полагаем, что в сечении трубопровода $x = 0$ на движущуюся массу смеси действует воздушный поток со скоростью u_{00} . Уравнения одномерного движения компонентов смеси и законы сохранения масс, согласно работам [3; 4], записываем в виде:

$$\rho_0 u_0 s \frac{du_0}{dx} = -\frac{\rho_0}{\rho_0^{(0)}} \frac{d(sp)}{dx} + sk(u_1 - u_0); \quad (4)$$

$$\rho_1 u_1 s \frac{du_1}{dx} = -\frac{\rho_1}{\rho_1^{(0)}} \frac{d(sp)}{dx} - sk(u_1 - u_0); \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \rho_0 u_0 s = u_{00} \rho_{00} s_0 = const, \quad \rho_1 u_1 s = u_{10} \rho_{10} s_0 = const, \\ \rho_0 = m \rho_0^{(0)}, \quad \rho_1 = (1-m) \rho_1^{(0)}, \\ \rho_0 = \frac{m}{m_0} \rho_{00}, \quad \rho_1 = \frac{1-m}{1-m_0} \rho_{10}, \end{aligned} \quad (6)$$

где ρ_0 , ρ_1 , m – соответственно приведенные плотности воздуха, волокнистой массы и пористости в произвольном сечении трубы;

$\rho_0^{(0)}$ и $\rho_1^{(0)}$ – их истинные плотности;

k – коэффициент сопротивления;

ρ_{00} , ρ_{10} и m_0 – известные значения плотности воздуха, волокнистой массы и пористости в сечении $x = 0$.

В процессе транспортирования смеси на внутреннюю стенку трубопровода со стороны частиц твердого компонента (частиц хлопка-сырца) действует боковое давления $q = k_0 p$ (k_0 – коэффициент бокового давления), которое по направлению движения создает силу трения $f q L$ (f – коэффициент трения между материалом и поверхностью трубы, $L = l(x)$ – длина контура поперечного сечения трубы), определяемую, например, по закону сухого трения Кулона. В этом случае уравнение (4) и (5) записываются в виде:

$$\rho_0 u_0 s \frac{du_0}{dx} = -\frac{\rho_0}{\rho_0^{(0)}} \frac{d(sp)}{dx} + sk(u_1 - u_0); \quad (7)$$

$$\rho_1 u_1 s \frac{du_1}{dx} = -\frac{\rho_1}{\rho_1^{(0)}} \frac{d(sp)}{dx} - sk(u_1 - u_0) - k_0 l f p (1-m); \quad (8)$$

Преобразуя уравнения, получим:

$$\frac{dp}{dx} + Z_0(m, x)p = Z_1(x, m, p). \quad (9)$$

$$\text{Здесь: } Z_0 = \frac{l(x)k_0 f (1-m)}{s(x)},$$

$$Z_1(x, m, p) = F_3(x, m, p) + F_4(x, m),$$

$$F_3 = \frac{s_0^2}{s^2(x)} \frac{Z(x, m, p)}{m^2(1-m)^2} [\rho_{00} u_{00}^2 m_0^2 (1-m) - \rho_{10} u_{10}^2 (1-m_0)^2 m],$$

$$F_4 = \frac{s_0^2}{s^2(x)} \frac{s'(x)}{s(x)} \frac{1}{m(1-m)} [\rho_{00} u_{00}^2 m_0 (1-m) + \rho_{10} u_{10}^2 m (1-m_0)]$$

Уравнения (8) и (9) совместно описывают систему, которая удовлетворяет следующие начальные условия, позволяющие определить пористость хлопка и давление:

$$\text{при } x = 0 \quad m = m_0, \quad p = p_0 = \rho_{00} u_{00}^2 / 2.$$

Уравнения обработаны программой Maple 2019 при следующих параметрах для трубопровода постоянного сечения, и получены соответствующие графические зависимости: $m_0 = 0.4$, $u_{00} = 20 \text{ м/с}$, $\rho_{00} = 1.2 \text{ кг/м}^3$, $Q_0 = 10000 \text{ кг/час}$, $\rho_{10} = 38 \text{ кг/м}^3$, $s = s_0 = \pi D^2 / 4$, $l = \pi D$, $k_0 = 0.6$. Текущий коэффициент пористости хлопка равен $m = 0.6$, а граничные значения коэффициента взаимодействия соответственно равны $k_n = 50 \text{ Нс/м}^4$, $k_n = 100 \text{ Нс/м}^4$, $k_n = 200 \text{ Нс/м}^4$, $k_n = 300 \text{ Нс/м}^4$.

На рис. 2–5 представлены результаты анализа уравнений при диаметре трубопровода $D = 0.4 \text{ м}$: изменение пористости хлопка $m(x)$, скоростей компонентов $u_0(x)$, $u_1(x)$ и давления $p(x)$ по длине трубопровода.

Для установления влияния коэффициента трения f на процесс транспортировки расчеты произведены при его различных значениях. При отсутствии

трения перемещение транспортируемого материала происходит при всех больших от нуля значениях коэффициента взаимодействия ($k > 0$). А при наличии трения движение происходит при $k \geq k_n$, (k_n – граничное значение коэффициента k . При меньших значениях этого коэффициента ($k < k_n$) в некоторых сечениях трубопровода давление обращается в нуль и движение не будет происходить [5; 7]. Для таких случаев принятая модель не работает. Для всех других случаев полученные уравнения правильно описывают процесс перемещения двухфазного потока.

Например, при $f = 0.05$, $f = 0.1$, $f = 0.2$ и $f = 0.3$ коэффициент взаимодействия будет иметь следующие значения: $k_n = 8.7 \text{ Нс} / \text{м}^4$, $k_n = 16.8 \text{ Нс} / \text{м}^4$, $k_n = 35.4 \text{ Нс} / \text{м}^4$, $k_n = 50.5 \text{ Нс} / \text{м}^4$.

Анализ показывает, что значение пористости (рис. 2), сохраняет свойство закономерного общего возрастания при больших значениях k_n (график справа) относительно меньших (график слева) и составляет порядка 0.85. При этом, когда $k = 400 \text{ Нс} / \text{м}^4$, возрастание намного интенсивнее в начале процесса, а после прохождения 24–25 м оно остается относительно постоянным.

На графике давления (рис. 3) есть разница при начальных параметрах: давление в начале трубопровода – около 75 Па при меньших (график слева), 95 Па (график справа) при больших значениях k_n . Однако значение давления при меньших значениях k_n в начальных 1–2 метрах трубопровода резко снижается. При достижении 20 метров интенсивность падает, затем давление относительно стабилизируется. При высоких значениях k_n давление снижается почти с одинаковой интенсивностью. График скорости воздуха (рис. 4) показывает свойство снижения с одинаковой интенсивностью при всех значениях k_n . При достижении 50 м скорость воздуха падает до 14–12 м/с, затем почти не изменяется. А скорость хлопка (рис. 5) начиная с 0-го значения постепенно повышается. И при достижении 50 м относительно стабилизируется при значении 7–8 м/с.

Затем остается почти без изменения, а скорость хлопка (рис. 5), наоборот, имеет возрастающий характер. Если обратить внимание на графики, скорость хлопка в начальных 20 метрах длины трубопровода изменяется значительно резко, затем более стабильно. При больших значениях коэффициента взаимодействия, хотя в начале трубопровода скорость изменяется очень сильно, после прохождения около 30 м расстояния сильное изменение скорости не наблюдается.

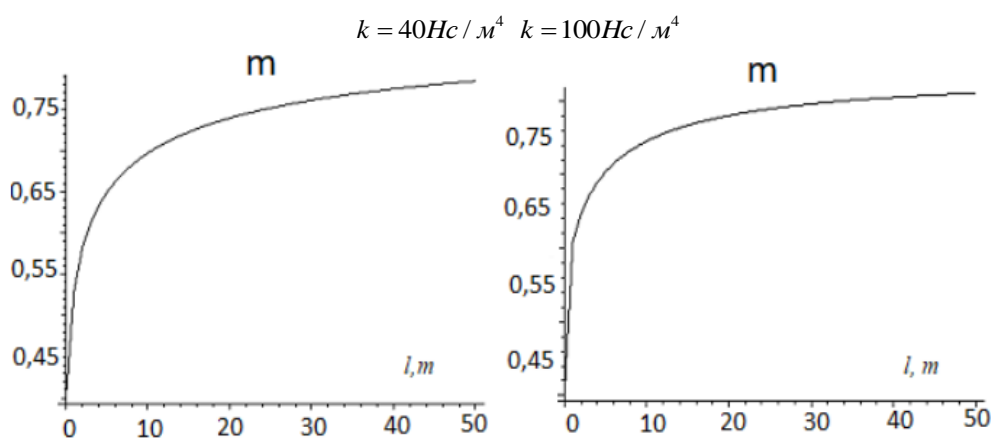


Рисунок 2. Изменение пористости хлопка по линии транспортировки

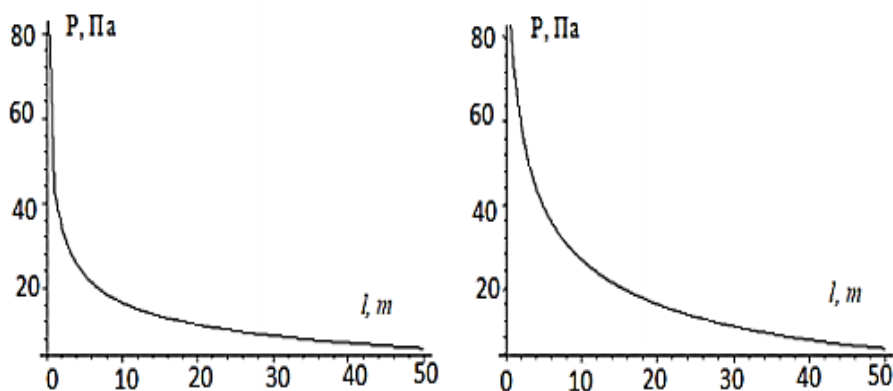


Рисунок 3. Изменение давления воздуха по линии транспортировки

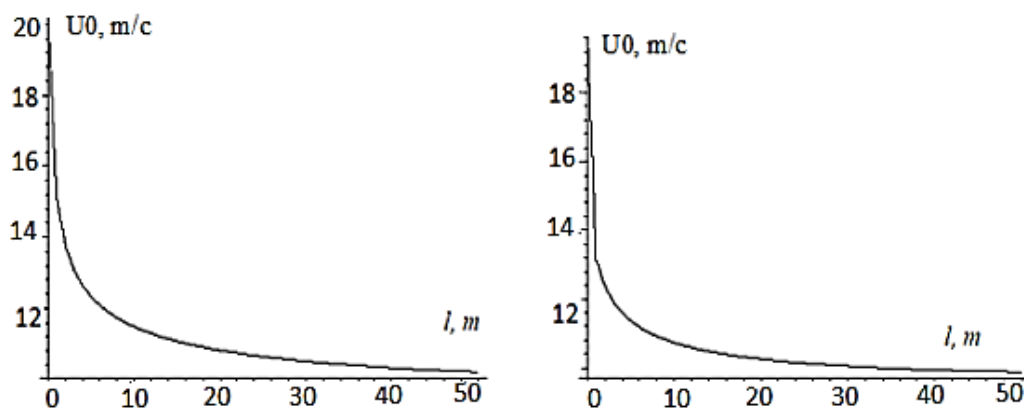


Рисунок 4. Изменение скорости воздуха по линии транспортировки

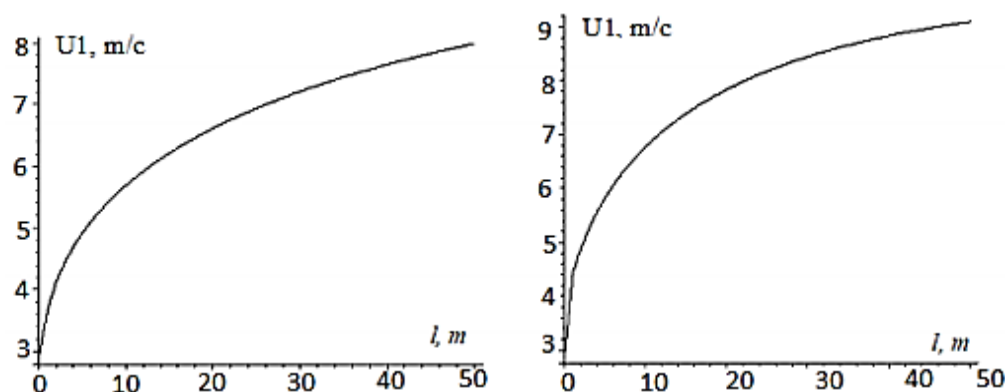


Рисунок 5. Изменение скорости хлопка по линии транспортировки

При больших значениях коэффициента взаимодействия характер изменения параметров сохраняется. Разницей является лишь интенсивность изменения. Изменение пористости хлопка в обоих случаях на расстоянии 50 м достигает одинаковой величины – 0,75–0,80. Только при большом k рост пористости на начальных 10–20 метрах значительно сильнее, и при достижении 30 м изменение значительно стабилизируется. А изменение давления, наоборот, при меньших k снижается сильнее относительно больших k . Это показывает, что k отрицательно влияет на силу сопротивления, т.е. с его увеличением сила сопротивления снижается, а при уменьшении, наоборот, увеличивается [1; 2]. Если обратить внимание на скорость воздуха, то можно увидеть его значение: на расстоянии 40–50 метров она составляет порядка 14–15 м/с, т.е. воздух опережает хлопок с относительной скоростью, равной разнице их скоростей. Отношение скорости хлопка на скорость воздуха даст коэффициент опаздывания, которое в нашем случае составляет величину, равную табличным значениям $k = 0.7–0.75$ [1; 2]. Этот коэффициент показывает, насколько опаздывает хлопок от воздуха. Факт равенности теоретических значений с табличными, которые установлены экспериментально, доказывает соответствие установленной теоретической закономерности с естественной закономерностью движения хлопковооздушной смеси в транспортных трубопроводах пневмоустановок и

даст возможность предложить установленные формулы для расчетов пневмотранспорта [8; 6] и при его проектировании.

Полученная модель является универсальной, и ее можно применить для расчетов трубопроводов с переменным сечением.

Выводы

1. Исследованиями установлено, что при пневматической транспортировке в начальных 20–25 метрах трубопровода сильно увеличивается пористость транспортируемого хлопка, что показывает его подвержение деформации растяжения и доказывает, из-за чего хлопок при пневмотранспортировке разрыхляется, становится более распушенным, отделяются от него сорные примеси.

2. Вхождение хлопка в трубопровод пневмотранспорта приводит к резкому снижению давления и скорости воздуха, а скорость хлопка в начальных 15–20 метрах трубопровода увеличивается сильно, затем с более умеренной интенсивностью.

3. Многоскоростная модель движения хлопковооздушной смеси как гетерогенной среды в пневмотранспортных трубопроводах более правильно описывает процесс перемещения воздуха и материала во время пневмотранспортировки, что дает возможность предложить ее использование для расчетов пневмотранспорта и при его проектировании.

Список литературы:

1. Ахмедходжаев Х.Т. Исследование транспортирования хлопка-сырца в металлополимерных трубопроводах и их влияние на качество волокна и семян : дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 1980.
2. Кадырходжаев С.К. Разработка сепаратора для хлопка-сырца с целью сохранения его качественных показателей и сокращения потерь волокна : дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 1986.
3. Рахматуллин Х. Газовая и волновая динамика. – М. : Изд. МГУ, 1983.
4. Abdulkarimovich, M.O., Ibragimovich, A.K., Sharipjanovich, S.O. Designing a New Design of a Loading Cylinder for Pneumomechanical Spinning Machines. *Engineering*. – 2018. – № 10. – P. 345–356.
5. Effective Cleaning of Cotton Waste Produced at Cotton Cleaning Factories / I. Abbazov, O. Sarimsakov, M. Khodjiev, B. Mardonov // *American Journal ASCIT Communications*. – 2018. – № 5 (2). – P. 22–28.
6. Sarimsakov O. The Possibility of reducing air consumption and power consumption in pneumatic conveying of raw cotton // *American Journal of Science and technology*. – 2016. – № 4 (6). – P. 68–72 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aascitjournal/ajst>.
7. Sarimsakov O., Gaybnazarov E. About Energy Consumption in Pneumatic Conveying of Raw Cotton // *American Journal of Energy and Power Engineering*. – 2016. – Vol. 3. – № 4. – P. 26–29.
8. Sarimsakov O., Xusanov C., Muradov R. The Change in Air Pressure Along the Length of the Pipeline Installation for Pneumatic Conveying of Raw Cotton // *J. Engineering and Technology*. – 2016. – № 3 (5). – P. 89–92 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.aascit.org/journal/et.