

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА И ЭНЕРГОЁМКОСТИ ПРИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ХЛОПКА-СЫРЦА

Каримов Нуриддин Махамаджонович

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

Абдусаттаров Бунёд Каримжонович

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

Саримсаков Олимжон Шарибжанович

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

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF REDUCING AIR CONSUMPTION AND ENERGY CONSUMPTION DURING PNEUMATIC TRANSPORTATION OF RAW COTTON

Nuriddin Karimov

Doctoral student
 Namangan institute of Engenering and Technology,
 Uzbekistan, Namangan

Bunyod Abdusattarov

Doctoral student
 Namangan institute of Engenering and Technology,
 Uzbekistan, Namangan

Olimjon Sarimsakov

DSc, professor,
 Namangan institute of Engenering and Technology,
 Uzbekistan, Namangan

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы снижения расхода воздуха и энергоёмкости процесса путем использования труб различного диаметра для пневматической транспортировки хлопка-сырца путем анализа закономерности изменения давления и расхода воздуха по длине трубопровода пневмотранспортной установки для хлопка-сырца. Проанализированы зависимости изменения давления воздуха от параметров потока, которые могут быть использованы при проектировании пневмотранспорта.

ABSTRACT

The article discusses the issues of reducing air consumption and energy consumption of the process by using pipes of various diameters for pneumatic transportation of raw cotton by analyzing the regularity of changes in pressure and air flow along the length of the pipeline of a pneumatic conveying plant for raw cotton. Analyzed the dependences of the change in air pressure on the flow parameters, which can be used in the design of pneumatic transport.

Ключевые слова: хлопок-сырец, пневмотранспортная установка, трубопровод, транспортировка, статическое давление, динамическое давление.

Keywords: raw cotton, pneumatic transport unit, pipeline, transportation, static pressure, dynamic pressure.

1. Образование в пневмотранспортных установках аэродинамических параметров

Пневмотранспортные установки, это прежде всего аэродинамическая установка, которая перекачивает

воздух с одного места на другое [5],[8]. Разницей является то, что в пневмотранспортные установки подают материал, которого движущийся воздух захватывает и перебрасывает в пункт назначения. Если,

судить по существу, воздух тоже материальное вещество, которое имеет и массу и объем, для переноса которого требуется не меньше сил и энергии. При этом, любой предмет или вещество, будучи в контакте с воздухом, особенно движущимся воздухом, окажется под силовым воздействием. Если это стенки трубопровода, то воздух оказывает воздействие статическим давлением, стремящимся разрушить стенки и силой трения частиц воздуха о поверхность стенки, стремящейся унести стенки вместе с собой по направлению движения, а если это частица или тело определенных форм и размеров – силами инерции и трения, которые тоже стремятся унести их по направлению движения. Однако, характер взаимодействия воздуха с другими телами (частицами в том числе) настолько сложен, что теоретическое описание данного процесса со всеми, истекающими явлениями и эффектами невозможно. По этому, все известные теоретические предположения осуществлены с определенными допущениями и слиянием эмпирических подходов, основанных на экспериментальные данные [3],[1],[7].

Исследованиями установлено также снижение давления по длине трубопровода. Подключение или удаление 1 м трубопровода или элементов пневмоустановки - камнуловителя, сепаратора, или колена сопровождается уменьшением или увеличением давления у горловины трубопровода. Часто это объясняется потерями давления в трубопроводах [7],[2].

Для установления закономерности изменения давления по длине материалопровода, в первую очередь надо изучить процесс появления давления. Анализ осуществим согласно рис.1.

Любая аэродинамическая установка содержит минимум 3 составляющих, это вентилятор 2, с входящим 1 и отходящим 2 трубопроводами. И в любой конструкции вентиляторов, давление создают его крыльчатки (или колеса), которые, для обеспечения целенаправленного движения воздуха, закруглены обшивкой, имеющей входное и выходное окна, которые соединяются, соответственно с входящим 1 и отходящим 2 трубопроводами.

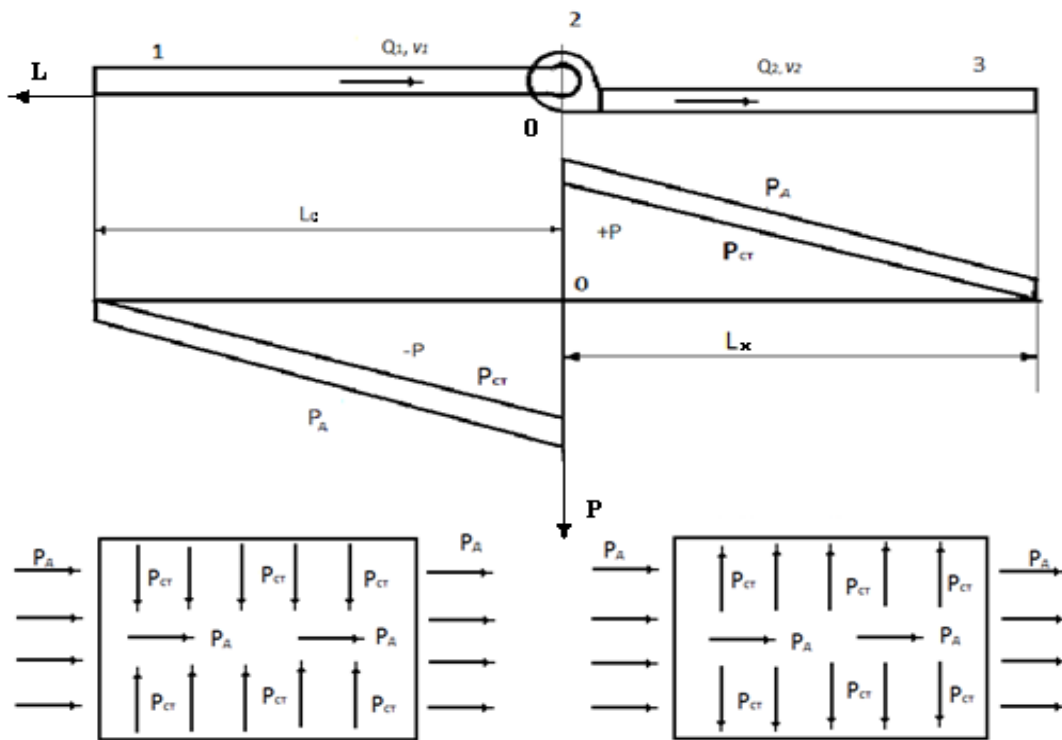


Рисунок 1. Упрощенная схема аэродинамической установки и направления давления в трубопроводах

При вращении крыльчатки (или колеса) она разрезает близлежащие слои воздуха со стороны входного окна и выбрасывает их в сторону выходного окна. Причем, у входного окна образуется разреженная, а у выходного – насыщенная (уплотненная) среда. Разреженная среда – это вакуум, которая притягивает к себе близлежащие частицы, в т.ч., частиц воздуха и при создании коридора для перемещения, образуется поток, который устремляется в вентилятор. Точно также, сила отталкивания уплотненной среды тоже образует поток, только – отходящий. Вентиля-

тор связывает эти потоки в одно целое, т.е., при работе, вентилятор присасывает поток воздуха или аэросмеси с одной стороны и выводит его в другую сторону. Поэтому, показатели входящего и отходящего потоков одинаковы.

Показателем разреженности (также и уплотненности), в самом деле, является показатель, измеряемая в единицах силы (или массы), приходящейся в единицу объема (это и есть единица измерения плотности). Однако, к настоящему времени нет в науке такого показателя как показатель разрежен-

ности (или уплотненности), нет и средств его измерения. Но, существует понятие давления, которое измеряется величиной силы, приходящейся на единицу площади. Эта, та сила, которая в области разряжения тянет стенки трубопровода в центр потока, а в области уплотнения – давит на стенки трубопровода изнутри. И эту силу можно измерять инструментально и относив ее значение на площадь действия этой силы определить значение давления. В трубопроводах, силы, действующие на стенки трубопровода перпендикулярны к стенке, вызывают статическое давление $P_{ст}$, а силы, действующие вдоль трубопровода – динамическое $P_{д}$. Полное давление $P_{п}$ есть алгебраическая сумма абсолютных значений динамического $P_{д}$ и статического $P_{ст}$ давлений [2],[9]:

$$P_{ст} = \rho gh, (1); P_{д} = 0.5\rho v^2, (2); P_{п} = P_{ст} + P_{д}, (3).$$

где ρ – плотность (кг/м³), v скорость (м/с) потока; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – пьезометрическая высота давления, которая равна высоте столба газа или жидкости, дающее давление, равное $P_{ст}$ на поверхность контакта, равной 1 м².

2. Изменение показателей потока по линии транспортировки и возможности его описания

Известно, что динамическое давление зависит только от плотности и скорости воздуха, по этому при отсутствии присоса (или выхлопа) газа через стенки трубы (или на местах соединения труб), т.е., при постоянстве скорости воздуха оно не изменяется по всей длине трубопровода и его можно определить измерением скорости потока. А статическое давление, если считать плотность известной величиной, зависит только от высоты столба воздуха, чего нельзя определить инструментально. Это давление оценивается непосредственным его измерением в начале (у горловины) и в конце (у вентилятора) трубопровода.

Если судить по формуле, статическое давление зависит от высоты столба газа, которая по собственному весу давит на опорную поверхность, а это в свою очередь есть расстояние, которое начинается с точки, где появляется это давление и имеет минимальное (или нулевое) значение и продолжается до точки контакта силы давления с опорной поверхностью, где оно имеет максимальное значение. При постоянном сечении и сопротивлении трубопровода статическое давление от горловины трубопровода до вентилятора изменяется по линейной зависимости.

Представим себе, что начало координат P_{0L} расположено у вентилятора (рис.1), ось $0L$ представляет длину трубопровода а $0P$ – есть статическое давление. Для данного случая уравнение прямой можно описать в виде:

$$(P - P_{п}) / (P_{б} - P_{п}) = (L - L_0) / (L_{б} - L_0), (4)$$

где, $P_{п}$ – начальное или номинальное давление (т.е., давление у вентилятора, которая равна паспортному

значению давления, создаваемого вентилятором), Па; $P_{б}$ – конечное давление, или давление у горловины трубопровода, Па; L_0 и $L_{б}$ – соответственно, начальная и конечная длина трубопровода, м. Представим, что отсчет начинается прямо с вентилятора и примем $L=L_0=0$, тогда у горловины трубопровода $L=L_{б}$. Если, с учетом этих условий решить уравнение относительно P , получим:

$$P = (P_{б}L + P_{п}(L_{б} - L)) / L_{б}, (5).$$

Проверим: при $L = 0, P = P_{п}$; а при $L = L_{б}, P = P_{б}$. Значит, уравнение правильно описывает закон изменения давления по линии транспортировки.

С другой стороны, у горловины трубопровода давление уменьшается на величину давления $P_{к}$, необходимого для преодоления сопротивления трубопровода:

$$P_{к} = 0.5 \rho v^2 \lambda L_{б} / d, (6).$$

где, λ – коэффициент аэродинамического сопротивления. С учетом этого, давление у горловины трубопровода будет равняться:

$$P_{б} = P_{п} - 0.5 \rho v^2 \lambda L_{б} / d. (7)$$

Если, уравнение описать относительно статического давления, то давление на любой точке пневмотрассы будет равна:

$$P_{ст} = P_{пс} - 0.5 \rho v^2 \lambda L / d, (8)$$

Здесь $P_{пс}$ – номинальное статическое давление, Па. А полное давление $P_{п}$ согласно (2), (3) и (8):

$$P_{п} = P_{пс} - 0.5 \rho v^2 (\lambda L / d - 1), (9)$$

Здесь $P_{пс}$ – полное номинальное давление, равное тоже паспортному показателю вентилятора, Па.

3. Анализ изменения давления воздуха в зависимости от параметров потока

Из уравнений (8) и (9) видно, что давление воздуха в любом сечении трубопровода зависит от номинального давления вентилятора установки минус давления, затраченного на преодоление сопротивления материалопровода, что в свою очередь находится в прямопропорциональной зависимости от длины трубопровода и в обратно пропорциональной, от диаметра трубопровода. Проведем анализ зависимостей при различных параметрах потока.

Внутренний диаметр трубопровода равна $d = 0.315; 0.355; 0.4$ м., плотность воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³. Коэффициент сопротивления внутренней поверхности труб движению чистого воздуха для шероховатых труб часто определяют по формуле Шиферсона[8]:

$$\lambda = 0.111 (a / d)^{0.25}, (10)$$

тут a – коэффициент шероховатости трубы, которая для новых труб равна $a = 0.133$; для использованных труб $a = 0.044$. С учетом этого для различных диаметров труб:

при $a = 0.133$

$d = 0.315 \text{ мм} - \lambda = 0.089;$
 $d = 0.355 \text{ мм} - \lambda = 0.087;$
 $d = 0.4 \text{ мм} - \lambda = 0.084;$

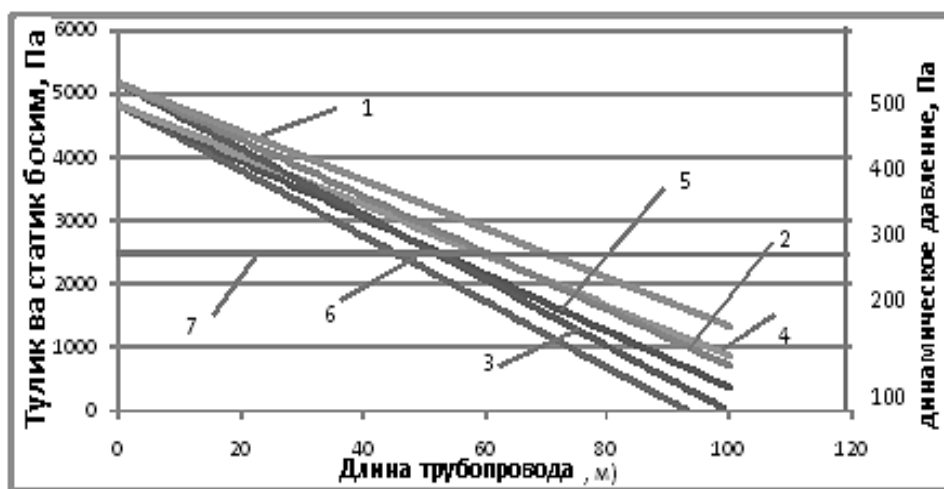
при $a = 0.044$

$d = 0.315 \text{ мм} - \lambda = 0.068;$
 $d = 0.355 \text{ мм} - \lambda = 0.066;$
 $d = 0.4 \text{ мм} - \lambda = 0.064.$

Анализ уравнения (9), проведенный на ЭВМ при различных параметрах потока представлена на рис. 2.

Результаты показывают, что динамическое давление при условии полной герметизации системы имеет постоянное значение по всей линии тока. А статическое и полное давление линейно уменьшаются от точки возмущения, т.е. от вентилятора до конечностей пневмотрассы. Из рисунка видно, что при

меньших диаметрах уменьшение давлений заметно интенсивнее. Это показывает на высокую сопротивляемость труб меньшего размера относительно больших. Например, при диаметре трубы 315 мм статическое и динамическое давления приближаются нулю на расстоянии 95-100 м.



На рисунке 1, 2 и 3 – полное давление, 4, 5 и 6 – статическое давление, 7 – динамическое давление. При этом, 1 и 4 – при диаметре трубы 400 мм, а 2 и 5 – при диаметре трубы 355 мм, 3 и 6 – при диаметре трубы 315 мм.

Рисунок 2. Распределение динамического, статического и полного давлений по длине трубопровода

важен, ещё такой момент – графики давления при диаметре 355 мм (2-линия) и 400 мм (4-линия) пересекаются и по значениям очень близки друг к другу. Это показывает, что замена трубопровода диаметра 400мм на трубопровод диаметра 355 мм к большим потерям давления и мощности не приведет. По этому, трубы диаметра 355 мм могут успешно заменить труб 400 мм- го диаметра.

4. Анализ изменения коэффициента сопротивления внутренней поверхности трубопровода от его диаметра и скорости потока

Действительно, многими исследованиями установлено увеличение сопротивления трубопровода с уменьшением диаметра трубопровода. Вместе с этим, Блазиусом [15] установлено, что для гидравлически гладких труб увеличение скорости воздуха

при постоянном диаметре трубопровода приводит к снижению сопротивления трубопровода. Им установлена обратно пропорциональная зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления от числа Рейнольдса:

$$\lambda = 0.3164 / Re^{0.25}, \tag{11}$$

В свою очередь, число Рейнольдса определяется как произведение диаметра трубопровода и скорости воздуха:

$$Re = \rho d v / \mu.$$

Здесь μ коэффициент динамической вязкости воздуха ($1.85 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$). Результаты анализа (13) представлены в табл.1.

Таблица 1.

Зависимость коэффициента сопротивления от скорости воздуха и диаметра трубопровода

D, м	λ при различной скорости воздуха					
	v=15 м/с		v=20 м/с		v=25 м/с	
	λ _б	λ _ε	λ _б	λ _ε	λ _б	λ _ε
0.400	0.0127	0.022	0.0118	0.0206	0.007	0.019
0.355	0.0130	0.023	0.0120	0.0216	0.0115	0.020
0.315	0.0135	0.024	0.0125	0.022	0.0118	0.0216

В таблице λ_б - коэффициент аэродинамического сопротивления по Блазиусу; λ_ε - экспериментальный коэффициент аэродинамического сопротивления. Если обратить внимание на результаты анализа можно увидеть, что уменьшение диаметра трубопровода приводит к увеличению их сопротивляемости, а увеличение скорости потока – к ее уменьшению. Кроме того, экспериментальные результаты меньше коэффициентов по Шиферсону, больше коэффициентов по Блазиусу. При этом, экспериментальный коэффициент аэродинамического сопротивления λ_ε определен согласно уравнению:

$$\lambda = (0.5 \rho v^2 + P_{н-} - P_{п}) d / (0.5 L \rho v^2), \quad (12)$$

Если, трубопровод изготовлен из стальных листов с отшлифованной рабочей поверхностью или был в определенное время в эксплуатации, то при расчетах можно воспользоваться коэффициентами Блазиуса. В остальных случаях можно использовать экспериментальные коэффициенты. А если, трубопровод изготовлен из необработанных стальных листов, с высокой степенью шероховатости, то при расчетах можно воспользоваться коэффициентами

Шиферсона. Из результатов анализа видно, что с увеличением скорости воздуха коэффициент сопротивления снижается. Отсюда можно сделать заключение о том, что действительно, увеличение сопротивления трубопровода при меньших диаметрах можно компенсировать увеличением скорости потока [11], [13], [14]. Это показывает возможность успешного применения труб диаметра 355 и 315 мм в составе пневмотранспортной установки для хлопка-сырца. Подобные методы моделирования процессов первичной обработки хлопка, его пневматической транспортировки в том числе, рассмотрены в следующих работах авторов [16], [12], [5], [6], [10].

Выводы и рекомендации:

1. Теоретическими исследованиями доказано и обосновано снижение статического и полного давлений по линии транспортировки.
2. Установлена зависимость изменения давления по линии транспортировки от диаметра и аэродинамического сопротивления трубопровода.
3. Полученные результаты рекомендуются применить при проектировании пневмотранспортных установок для хлопка-сырца.

Список литературы:

1. Альтшуль А. и др. Гидравлика и аэродинамика. Стройиздат, 1987.с. 25-89.
2. Антимонов С. и др. Измерение и расчеты потерь давления в воздуховодах. Оренбургский Государственный университет. Оренбург., 2005. С. 54-120.
3. Гарбарук А., Стрелец М., Шур М.. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений. Санкт-Петербургский политехнический университет. Санкт-Петербург., 2012. С. 32-68.
4. Зарницына Э.Г., Терехова О.Н. Вентиляционные установки и пневмотранспорт. Изд-во АлтГТУ, Барнаул, 2011. С. 54-98.
5. Karimov A., Azizov Sh., Ismanov M. "Mathematical Modeling Of the Technological Processes Original Processing Of Cotton," International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 6, no. 1, pp. 28–39, May 2014. (<http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.phparticle=IJIAS-14-031-01>)
6. Karimov Abdusamat Ismanovich, Azizov Shuhrat Mamatovich, The simulation of ginning machine and working parts for fiber quality and productive.2 -International Conference and Exhibition on Materials Science & Engineering October 07-09, 2013 Hampton Inn Tropicana, Las Vegas, NV, USA, J Material SciEng 2013, 2:4, <http://dx.doi.org/10.4172/2169-0022.S1.011>
7. Лойцянский Л.. Механика жидкости и газа. Москва, Дрофа, 2003. С. 21-54.
8. Маркин А.Н.Аэродинамика вентиляции. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. Макеевка, 2007. С. 32-97.
9. Мурадов Р. Основы повышения эффективности устройства по пневматической транспортировке хлопка. Монография. Наманган, 2015.С. 20-92.
10. Muradov R., Burnashev R.Z, Sarimsakov O.Sh. Dynamic problem of the interaction of raw cotton with tools processing machines Journal Problems of Mechanics, 2001, №3,4. С. 55-56

11. Мурадов Р., Саримсаков О., Хусанов С. Внутривзаводская пневмотранспортировка хлопка-сырца: состояние, проблемы и перспективы. Журнал «Проблемы механики», 2014, № 2. С. 25-29.
12. Obidov A., Kh.Akhmedhodjaev, O.Sarimsakov, Q.Holikov. Investigation of the Properties of Fibrous Cotton Seeds, for Sorting on a Mesh Surface. Engineering, 2018, 10, Pp. 572-578.
13. Sarimsakov, O. Sattorov N., Siddiqov Z. Xusanova Sh (2016) // Improvement of the Process in Disassembling of Cotton Stack and Transferring the Cotton into Pneumotransport// International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 7, (2020), pp. 10849-10857.
14. Sarimsakov, O., I.Tursunov, N. Rajapova, B. Mardonov// The study of the movement of the aero mixture through the pipeline during pneumatic transportation// Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. Vol.12,04-special issue, 2020. P.1287-1297.
15. Стефанов Е. Вентиляция и кондиционирование воздуха. «Авок северо-запад», Санкт-Петербург, 2005. С. 22-86.
16. Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках. Пер. С английского языка. Москва, Недра, 1986. С. 42-98.