

О некоторых резервах повышения эффективности пневмотранспортирования хлопка-сырца

Наманган мухандислик-технология институти

Анализ показывает, что на существующих в республике хлопказаводах хлопок несколько раз проходит через пневмоустановки. В зависимости от мощности внутриваровой заготовки хлопка-сырца, расположения цехов и дальности бунтовых площадок кратность пневмотранспортировки составляет от 4 до 6 раз.

С учетом дальности транспортировки в пневмоустановках применяют в основном центробежные вентиляторы ВЦ-8М, ВЦ-10М, ВЦ-12М, с потребляемыми мощностями 30, 55, 75 квт/час и расходами воздуха 3.5, 5.5, 6.4 м³/с, соответственно.

В качестве материалопровода применяется трубопровод из листовой стали, толщиной 1-2 мм, с внутренним диаметром 0,4 м.

Известно, что Q-расход воздуха в трубопроводе зависит от его сечения F и скорости воздушного потока V_в:

$$Q = F \cdot V_{в}, \quad (1)$$

Поперечное сечение F трубопровода постоянное по всей длине пневмопровода и определяется по известной зависимости $F = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2$, где d – внутренний диаметр трубопровода. При $\pi=3,14$; $d=0,4$ м сечение трубопровода будет равняться $F = 0,1256$ м².

Разрежение, созданное вентилятором передается в трубопровод через сепаратор-разгрузитель, который выполняет функцию выгрузки транспортируемого материала из пневмосистемы.

Во время работы сепаратора разрежение, созданное в его камере вызывает некоторый присос воздуха из наружи через вакуум-клапан сепаратора. В зависимости от износа лопастей вакуум – клапана и числа его оборотов присос воздуха составляет 3 - 8 % от общего расхода воздуха. Согласно данным “ Пахтасаноатилм ” (бывший ЦНИИХПром) [1], на каждый 10 м пневмотрассы приходится дополнительный присос воздуха из наружи в размере 3% от общего расхода воздуха.

Если принять присос равным u% и ввести коэффициент, учитывающий присос воздуха, который равняется $k = 1 - u/100$ то расход воздуха после элемента пневмоустановки, установленного перед вентилятором можно определить

$$Q_{н} = k \cdot Q, \quad (2).$$

А, если количество элементов равна n, то расход воздуха перед последним элементом будет равняться

$$Q_{н} = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \cdot Q, \quad (3).$$

Или-же, если элементы имеют одинаковую величину присоса, т.е. $k_1=k_2=\dots=k_n$

$$Q_n = k^n \cdot Q, \quad (4).$$

Т.к., $k < 1$ с увеличением количества элементов (n) расход воздуха Q_n будет уменьшаться. С учетом действительных величин посчитаем количество воздуха, передаваемое элементами пневмоустановки друг-другу.

Присос воздуха в сепараторе примем равным $u = 5\%$. Тогда $k = 1 - 5/100 = 0.95$, а расход воздуха после сепаратора:

$$Q_n = 0,95 Q.$$

Это-же в числовом выражении:

- с вентилятором ВЦ-8М $Q_n = 0,95 \cdot 3,5 = 3,325 \text{ м}^3/\text{с};$
- с вентилятором ВЦ-10М $Q_n = 0,95 \cdot 5,5 = 5,225 \text{ м}^3/\text{с};$
- с вентилятором ВЦ-12М $Q_n = 0,95 \cdot 6,4 = 6,08 \text{ м}^3/\text{с}.$

С учетом действительного диаметра трубопровода $d=0,4\text{м}$ из (1) можно определить скорость воздуха в начале (у сепаратора) трубопровода:

$$V_B = \frac{Q}{F} \quad (5), \quad \text{или}$$

в числовом выражении:

- с вентилятором ВЦ-8М

$$V_B = \frac{3,325}{0,1256} = 26,5 \text{ м/с};$$

- с вентилятором ВЦ-10М

$$V_B = \frac{5,225}{0,1256} = 41,6 \text{ м/с};$$

- с вентилятором ВЦ-12М

$$V_B = \frac{6,08}{0,1256} = 48,4 \text{ м/с}.$$

Сепаратор передает разряжение трубопроводу, который состоит из отдельных труб, длиной 3-6 м, собранных воедино - как магистральная линия. Присос воздуха происходит, в основном, из-за неплотного соединения узлов трубопровода. На практике трудно оценить присос каждого узла отдельно. По этому, согласно [1], присос воздуха примем равным $u = 3\%$. Тогда $k = 1 - 3/100 = 0.97$. Тогда, передаваемый на 10м длины трубопровода расход воздуха будет составлять $100-3=97\%$ от Q_n . Условно примем каждый 10м трубопровода отдельным элементом, соединенным последовательно.

Минимальное расстояние пневмотранспортировки на практике составляет около 50 м, тогда количество элементов $n = 5$ и из (4), проставив Q_n вместо Q находим скорость воздуха на конце (у горловины) трубопровода, длиной 50 м, который будет составлять:

- с ВЦ – 8М

$$V_B = \frac{3,325 \cdot 0,97^3}{0,1256} = 22,7 \text{ м/с}$$

- с ВЦ – 10М

$$V_B = \frac{5,225 \cdot 0,97^3}{0,1256} = 36,7 \text{ м/с}$$

- с ВЦ – 12М

$$V_B = \frac{6,08 \cdot 0,97^3}{0,1256} = 41,07 \text{ м/с.}$$

Практический интерес представляет и транспортировка хлопка из более дальнего расстояния - из бунтовых площадок и крытых хранилищ, для чего, в основном, используют вентиляторы ВЦ – 12М. Допустим, что дальность транспортировки составляет 100 м (т.е. $n = 10$). Тогда скорость воздуха на этой точке - у горловины трубопровода, т.е., в зоне подачи хлопка составляет:

$$V_B = \frac{6,08 \cdot 0,97^{10}}{0,1256} = 35,7 \text{ м/с.}$$

Однако, при измерении скорости воздуха на хлопкозаводах получены значительно меньшие показатели. Например, исследования, проведенные на хлопкозаводах Наманганской области республики Узбекистан показали, что при радиусе действия пневмоустановки около 100 м, при использовании вентиляторов ВЦ – 12М, скорость у горловины трубопровода составляет 20 – 25 м/с. Это указывает на наличие сверхустановленных присосов воздуха в элементах пневмотранспорта - в пневмотрассе (более чем в 3 % на 10 м длины трубопровода), камнеуловителях, сепараторе, что требует пересмотреть конструкции соединительных механизмов (муфт) трубопроводов, линейных камнеуловителей, используемых в составе пневмоустановок и сепаратора с точки зрения обеспечения более высокой герметичности системы.

Многими исследованиями рассмотрены характер движения хлопка – сырца внутри элементов пневмотранспорта, в т.ч. трубопровода. Зачастую рассмотрены динамические модели движения аэрохлопковой смеси - установлены некоторые закономерности, определены траектории, скорости движения транспортируемого материала.

В настоящих исследованиях мы ставим несколько иную задачу - рассмотрим процесс транспортировки хлопка исходя из практических значений процесса.

Производительность транспортировки является одним из основных показателей пневмоустановки. Она определяется:

$$П = \frac{M}{t} \quad (5),$$

где: М-масса хлопка- сырца;
t-время транспортировки.

Производительность процесса транспортировки зависит от производительности замыкающего элемента пневмотранспорта - сепаратора, которая имеет пропускную способность:

- марки СС-15А--15 т/ч.
- марки СХ --22 т/ч.

Последующие технологические машины, например, сушильный барабан (марки 2 СБ-10, СБО) рассчитан на производительность-10 т/ч, очиститель мелкого сора 6А-12- на 12 т/ч.

Из-за несоответствия технологических машин по производительности при их работе на полную мощность образуется излишний запас хлопка в цехах у оборудований с меньшей производительностью, что тоже нецелесообразно - занимает рабочее место, создает пожароопасность. По этому, расчет ведем для, более усредненной величине производительности – П = 10-12 т/ч.

Переведем значение производительности на кг/сек:

$$П=(10\div 12)\text{т/ч} = (10\div 12)\times 1000\text{кг}/3600 \text{ сек} = 2,78\div 3,33 \text{ кг/с}.$$

Время транспортировки можно определить из зависимости:

$$V_m = \frac{l}{t} \quad , \quad (6)$$

где: V_m -скорость материала, м/с;
l-длина трубопровода (расстояния транспортировки), м.

Откуда

$$t = \frac{l}{V_m} \quad , \quad (7).$$

Объединяя (5) и (7) имеем:

$$П = \frac{M}{l} \cdot V_m \quad , \quad (8).$$

Откуда находим М

$$M = \frac{П \cdot l}{V_m} \quad , \quad (9)$$

где М-представляет собой массу хлопка, приходящегося на отрезок длины l трубопровода.

Скорость материала (хлопка-сырца) зависит от скорости воздушного потока. Она определяется из экспериментальной зависимости [2, 3]:

$$V_M = (0,5 \div 0,75) V_B, \quad (10)$$

Скорость воздуха примем равным $V_B = 25 \text{ м/с}$. Тогда

$$V_M = 25 \cdot (0,5 \div 0,75) = 12,5 \div 18,75 \text{ м/с}.$$

Проведём анализ (8) при значениях $\Pi = 10 \div 12 \text{ т/ч} = 2,78 \div 3,33 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$.

Примем, скорость материала, равным $V_M = 12,5 \div 18,75 \text{ м/с}$. Тогда

для $\Pi = 2,78 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

$$M = \frac{2,78 \cdot l}{(12,5 \div 18,75)} = (0,22 \div 0,15) l;$$

для $\Pi = 3,33 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

$$M = \frac{3,33 \cdot l}{(12,5 \div 18,75)} = (0,27 \div 0,18) l.$$

Для различных значений l определим значение массы хлопка M . Результаты представлены в табл. 1

Табл. 1

l , м	0,1	0,5	1,0	100
M , кг (для $\Pi = 2,78$, $V_m = 12,5$)	0,022	0,11	0,22		22
M , кг (для $\Pi = 2,78$, $V_m = 18,75$)	0,015	0,08	0,15		15
M , кг (для $\Pi = 3,33$, $V_m = 12,5$)	0,027	0,135	0,27		27
M , кг (для $\Pi = 3,33$, $V_m = 18,75$)	0,018	0,09	0,18		18

Эти цифры показывают, что во время пневмотранспортировки хлопка на 1 м длины трубопровода приходится всего лишь 0,16 - 0,27 кг, т.е 160 - 270 граммов хлопка-сырца. Это же на 10 см 16 - 27 граммов, или-же, если мгновенно остановить процесс транспортировки в пневмоустановке, с протяженностью пневмотрассы 100м, внутри системы будет находиться, около 15-27 кг хлопка-сырца, не больше.

С другой стороны, известно, что масса M любого тела можно определить как произведение его объемной плотности γ и объёма V , т.е.

$$M = \gamma \cdot V, \quad (11),$$

Откуда, объем тела, массой M равна

$$V = M / \gamma, \quad (12).$$

При объемной плотности разрыхленного хлопка-сырца $\gamma = 50 \text{ кг/м}^3$, или в переводе на гр/см^3

$$\gamma = 50 \text{ кг/м}^3 = 50 \cdot 1000 \text{ гр/} 100^3 \text{ см}^3 = 0,05 \text{ гр/см}^3$$

и массе хлопка $M = 16 - 27 \text{ гр}$, объем этой частицы будет равняться

$$V = (16 \div 27) / 0,05 = (320 \div 540) \text{ см}^3.$$

И, если эту частицу представить в виде шара, то его радиус R , исходя из равенства

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3, \quad (11),$$

можно легко определить по формуле

$$R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}, \quad (12).$$

При заданных значениях V и π средние радиусы R частицы будет равным

$$R = \sqrt[3]{\frac{3(320 \div 540)}{4 \cdot 3,14}} = 4,25 \div 5,06 \text{ см}.$$

Проекция частицы на продольную ось пневмопровода будет равна радиусу R , а на площадь поперечного сечения трубопровода – площади шара радиусом R :

$$f = \pi R^2 = 3,14 \cdot (4,25 \div 5,06)^2 = (56,7 \div 80,4) \text{ см}^2.$$

Площадь поперечного сечения трубопровода радиусом $r = d/2 = 0,4/2 = 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см}$, была уже в определена м^2 , а в см^2 она равна

$$F = \pi r^2 = 3,14 \cdot 20^2 = 1256 \text{ см}^2.$$

Сечение трубопровода, занятое хлопком можно определить из соотношения:

$$\Delta f = \frac{f}{F} 100\%, \quad (13).$$

Подставив численные значения, имеем $\Delta f = (4,51 \div 6,40) \%$.

Анализируя полученные значения, можно сделать заключения о том, что во время пневмотранспортировки, при действующих размерах

пневмотрассы хлопок-сырец занимает не более половины длины и всего 5 – 6 % поперечного сечения трубопровода.

Эти расчеты показывают наличие значительного объема - пространства, не используемого в процессе транспортировки, т.е. во время работы основная часть объема трубопровода пустует. Если учесть, что в расчетах скорости воздушного потока и материала были приняты намного ниже чем расчетные значения, нерациональное использование потребляемой мощности пневмотранспорта окажется еще более очевидным. Это показывает нецелесообразность использования трубопроводов таких больших размеров поперечного сечения ($d = 0,4$ м), что вызывает больших расходов воздуха, электроэнергии и материала.

Практика оправдывает применение трубопроводов существующих размеров тем, что из-за неравномерной подачи хлопка (в виде больших комков) из хранилищ, образование хлопковоздушного потока требует больших размеров поперечного сечения материалопровода, т.к. во время подачи из-за больших размеров и массы частиц горловина трубопровода может забиваться хлопком, что приводит к остановке производства. Откуда следует, что обеспечением равномерной подачи хлопка в трубопровод пневмотранспорта появляется возможность ликвидации забоев горловины трубопровода даже при меньших размерах его поперечного сечения.

При действующих скоростях потока 20 – 25 м/с, если сократить диаметр трубопровода хотя бы до 350 мм, расход воздуха будет составлять $Q = FV = 1.9 \div 2.4$ м/с, а, если до 300 мм $Q = FV = 1.4 \div 1.8$ м/с. Это, в свою очередь позволяет значительно сократить расход электроэнергии (потребляемую мощность системы):

- при использовании вентилятора ВЦ–10М вместо ВЦ–12М – на 25 квт/час;
- при использовании вентилятора ВЦ–8М вместо ВЦ–10М – на 19 квт/час.

Более значимые цифры по экономии расхода мощности появляется с учетом кратности применения пневмотранспорта на хлопкозаводах, который доходит, как указано ранее, до 6. Т.е., массовым использованием рекомендаций экономия электроэнергии тоже увеличится в 4 – 6 раз относительно единичного использования.

Следует отметить, что применение трубопроводов меньшего размера требует пересмотра конструкции и других элементов пневмоустановки-камнеуловителя, сепаратора тоже. Но, возможность существенного сокращения расходов на электроэнергию оправдывает такой поступок. Это, свою очередь позволит сократить и расходы на очистку использованного воздуха, сократить потери материала в его составе а также обеспечить еще большую маневренность и мобильность пневмотранспортной установки.

Выводы

1. Анализ работы пневмотранспортной установки на хлопкозаводах показывает наличие ряда ресурсов повышения эффективности процесса переработки хлопка.

2. При работе пневмотранспортной установки наблюдается существенный присос воздуха из окружающей среды через элементы пневмотранспорта и места соединения трубопроводов между собой, что требует пересмотра конструкции этих элементов с точки зрения сокращения присоса воздуха со стороны.
3. Для более эффективного использования объема пространства пневмотрассы предлагается
 - применить питатель обеспечивающий равномерное питание пневмотранспорта хлопком;
 - сократить диаметр трубопровода пневмоустановки до 350-300 мм.

Литература:

1. Объединение «Узпахтасаноат», “Пахтани дастлабки қайта ишлаш” (Первичная обработка хлопка) (на узбекском языке), Т., «Мехнат», 2002 г.
2. Павлов Г.Г. «Аэродинамика технологических процессов и оборудования текстильной промышленности», изд. «Легкая индустрия», 1975 г.
3. Мирошниченко Г.И. «Основы проектирования машин первичной обработки хлопка», М.: «Машиностроение», 1972.