

УДК 697.921.42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРА-СБОРНИКА В КАЧЕСТВЕ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ОЧИСТКИ В СИСТЕМАХ ПНЕВМОТРАНСПОРТА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

*канд. техн. наук Т.И. КОРОЛЕВА
(Полоцкий государственный университет)*

Предложена усовершенствованная схема кустовой системы пневмотранспорта деревообрабатывающих производств. Приведены теоретические и экспериментальные исследования применения в этой системе в качестве первой ступени очистки вертикального коллектора-сборника, позволяющего более полно очистить удаляемый воздух от древесных отходов с наименьшими энергозатратами.

В Республике Беларусь в силу природных условий широко развита деревообрабатывающая промышленность. Производства, связанные с деревообработкой, потребляют значительное количество тепловой и электрической энергии за счет затрат на вентиляцию, а также оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Системы вентиляции деревообрабатывающих предприятий включают в себя установки пневматического транспорта для улавливания и транспортирования древесных отходов в воздушном потоке. Применение этих установок сопровождается выделением большого количества пыли, что наряду с загрязнением окружающей среды приводит к значительным потерям материала и затратам электроэнергии. Поэтому исключительно важное значение при использовании пневмотранспортных систем приобретает полнота отделения измельченного материала от несущей среды, что необходимо учитывать при разработке энерго-ресурсосберегающих технологий и создании экологически чистых установок.

Потери давления в системе пневмотранспорта происходят при транспортировании материала в воздушном потоке за счет трения транспортируемого материала и транспортирующего воздуха о стенки материалопровода, трения воздуха о поверхность частиц материала, движущихся с меньшей скоростью, а также за счет трения между частицами материала. Повышенным сопротивлением обладают фасонные части материалопроводов и применяемое оборудование. Требуется затраты энергии и на преодоление тяжести материала [1].

Для уменьшения энергоемкости систем пневмотранспорта нами предложено усовершенствовать их технологию, существенно уменьшив протяженность транспортирования материала, для чего в кустовой системе необходимо в центре расположения станков установить объемный вертикальный коллектор-сборник, в котором осаждаются крупные частицы транспортируемого материала, а в циклон поступает на очистку только пыль средней и мелкой дисперсности.

Такое расположение оборудования дает возможность сократить длину магистральных материалопроводов и концентрацию материала в них, что резко уменьшает аэродинамическое сопротивление системы, потребляемую электродвигателем мощность и расход металла, а также способствует улучшению улавливания транспортируемого материала.

По указанному принципу разработано несколько вариантов технологических схем кустовых систем пневмотранспорта, которые могут быть использованы для тех или иных конкретных условий.

Один из вариантов такой усовершенствованной системы показан на рис. 1 применительно к наиболее распространенной кустовой системе пневмотранспорта [2].

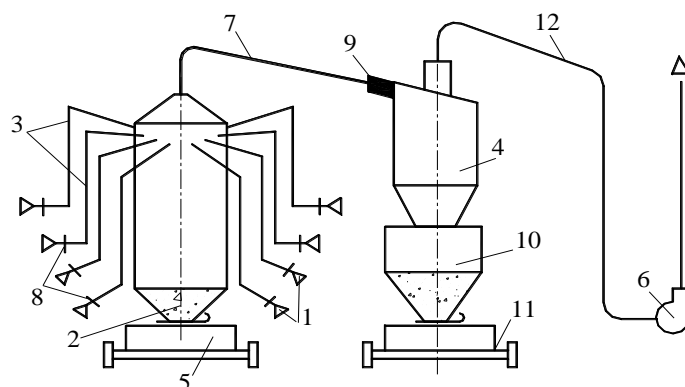


Рис. 1. Схема усовершенствованной кустовой системы пневмотранспорта

На предприятиях наиболее широко применяются кустовые системы пневмотранспорта, каждая из которых объединяет порядка десяти деревообрабатывающих агрегатов. В центре расположения агрегатов и их отсосов 1 предлагается разместить разработанный нами вертикальный коллектор-сборник 2 [3], к верхней части которого присоединяются материалопроводы 3 от приёмников отходов, подключенных к станкам. Основное назначение коллектора-сборника состоит в том, чтобы в нём выпадала из воздушного потока основная масса частиц древесных отходов – стружки, опилки и частично пыль. Выпадение их происходит из-за резкого уменьшения скорости воздуха в коллекторе, имеющем значительно больший (в 8...10 раз) диаметр, чем диаметр материалопроводов от приёмников отходов.

Кроме того, оседанию отходов способствует закручивание воздушного потока в верхней части коллектора-сборника за счёт применения тангенциального подключения к его корпусу материалопроводов от станков.

Осевшие в коллекторе под действием собственного веса отходы дальше по материалопроводу 7 системы пневмотранспорта не перемещаются и не попадают на очистку в циклон 4, что снижает расход электроэнергии на 15...20 %. Вентилятор 6 находится на некотором расстоянии от циклона и обычно размещается снаружи здания.

Высота и объём коллектора-сборника должны быть такими, чтобы в нём помешалось количество осевших древесных отходов, получаемое от станков при их работе в течение 1...3 часов или всей смены. Удаление отходов из коллектора производится путём выпуска их в кузов тележки 5 или на транспортёр. Регулирование количества воздуха, отсасываемого вентилятором 6 по сборному материалопроводу 12 в зависимости от числа одновременно работающих станков, осуществляется вентиляционными клапанами 8. Эти клапаны монтируются в материалопроводы 3 непосредственно у отсосов 1 каждого станка. С помощью вентиляционных клапанов, электрически связанных со станками, автоматически отключаются от пневмосети все неработающие в данное время станки, в результате чего вентилятор 6 отсасывает соответственно меньшее количество воздуха и за счёт этого потребляет пониженную мощность вследствие происходящего, так называемого дросселирования пневмосети.

Однако когда одновременно работает малое число станков, резко падает транспортирующая скорость воздуха в сборном материалопроводе 7, что ухудшает эффективность очистки воздуха от пыли в циклоне 4. Поэтому на входе воздуха в циклон предусматривается установка стабилизатора скорости 9, поддерживающего скорость воздуха на допустимом постоянном уровне, независимо от числа одновременно работающих станков. Уловленная циклоном древесная пыль периодически выгружается из бункера 10 в тележку 11 или на транспортёр.

Разработана конструкция и определены необходимые размеры коллектора-сборника кустовой системы пневмотранспорта.

Объём отходов (m^3), осевших в коллекторе-сборнике в течение заданного времени, будет

$$V_o = \sum_{i=1}^n G_{o,i} \rho_o^{-1} \tau \delta, \quad (1)$$

где $G_{o,i}$ – количество отходов, поступающих от данного станка, кг/ч; ρ_o – плотность отходов в насыпке, кг/ m^3 ; τ – время, в течение которого заполняется коллектор до допустимого уровня, ч; $\delta = 0,9... 0,95$ – коэффициент, учитывающий долю осевших в коллекторе отходов; n – число станков, подключенных к коллектору-сборнику.

Для нормального функционирования коллектора-сборника должно соблюдаться равенство:

$$V_o = V_u + V_{нк}, \quad (2)$$

где V_u – объём цилиндрической части коллектора (m^3), который допускается заполнять отходами за время τ работы станков (рис. 2); $V_{нк}$ – объём нижней конической части коллектора (m^3), служащей для выпуска отходов из коллектора.

Объём цилиндрической части коллектора (m^3), который допускается заполнять отходами за время τ работы станков, определяется по формуле;

$$V_u = \frac{\pi d_u^2}{4} \cdot h_u, \quad (3)$$

где d_u – принятый внутренний диаметр цилиндрической части коллектора, м; h_u – высота цилиндрической части коллектора, на которую допускается заполнение его отходами, м.

Объем нижней конической части коллектора (м^3), служащей для выпуска отходов из коллектора, составляет

$$V_{\text{нк}} = \frac{\pi h_{\text{нк}}}{3} \left(\frac{d_{\text{ц}}^2}{4} + \frac{d_{\text{нк}}^2}{4} + \frac{d_{\text{ц}}}{2} \cdot \frac{d_{\text{нк}}}{2} \right), \quad (4)$$

где $h_{\text{нк}}$ – высота усеченного конуса в нижней части коллектора, м; $d_{\text{нк}}$ – диаметр выпускного отверстия, м.

Подставив формулы (1), (3) и (4) в формулу (2), получим:

$$\sum_{i=1}^n G_{o,i} \rho_o^{-1} \tau \delta = \frac{\pi d_{\text{ц}}^2}{4} h_{\text{ц}} + \frac{\pi (d_{\text{ц}} - d_{\text{нк}}) \text{tg } \alpha}{24} (d_{\text{ц}}^2 + d_{\text{нк}}^2 + d_{\text{ц}} d_{\text{нк}}). \quad (5)$$

Отсюда находим высоту цилиндрической части коллектора:

$$h_{\text{ц}} = \frac{24 \sum_{i=1}^n G_{o,i} \rho_o^{-1} \tau \delta - \pi (d_{\text{ц}} - d_{\text{нк}}) \text{tg } \alpha (d_{\text{ц}}^2 + d_{\text{нк}}^2 + d_{\text{ц}} d_{\text{нк}})}{6\pi d_{\text{ц}}^2}. \quad (6)$$

Общая высота коллектора-сборника составляет

$$h = h_{\text{вк}} + h'_{\text{ц}} + h_{\text{нк}} + h_{\text{ц}} = \frac{d_{\text{ц}} - d_{\text{вк}}}{2} \text{tg } \psi + h'_{\text{ц}} + \frac{d_{\text{ц}} - d_{\text{вк}}}{2} \text{tg } \alpha + \frac{24 \sum_{i=1}^n G_{o,i} \rho_o^{-1} \tau \delta - \pi (d_{\text{ц}} - d_{\text{нк}}) \text{tg } \alpha (d_{\text{ц}}^2 + d_{\text{нк}}^2 + d_{\text{ц}} d_{\text{нк}})}{6\pi d_{\text{ц}}^2}, \quad (7)$$

где $h_{\text{вк}}$ – высота переходника в верхней части коллектора-сборника, м; $h'_{\text{ц}} = 0,2...0,3$ м – высота цилиндрической верхней части коллектора, которая не должна заполняться отходами, м; $d_{\text{вк}}$ – диаметр верхнего отсасывающего отверстия, м; ψ – угол между образующей боковой поверхности верхнего усеченного конуса и горизонталью, град; α – угол между образующей боковой поверхности нижнего усеченного конуса и горизонталью, град.

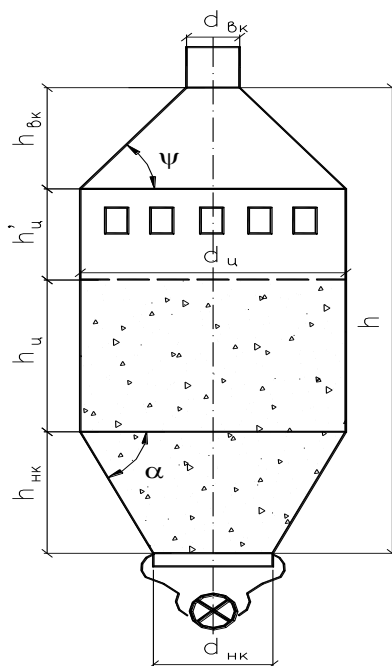


Рис. 2. Схема коллектора-сборника

Чтобы осуществить расчет высоты коллектора-сборника с помощью ЭВМ, необходимо выделить величины, входящие в формулу (7).

Расчет диаметра центральной цилиндрической части коллектора осуществляется по формуле:

$$d_u = D = \sqrt{\frac{4G}{3600\pi\rho_g v_g}}, \quad (8)$$

где G – расход воздуха, проходящий через коллектор, кг/ч; v_g – скорость воздуха в центральной части коллектора, принимается равной $v_g = 5$ м/с.

Диаметр верхнего отсасывающего отверстия коллектора-сборника принимается равным $d_{вк} \approx 0,5d_u$ при угле $\psi = 30^\circ$; диаметр выпускного отверстия $d_{нк} \approx 0,5d_u$ при $\alpha = 65^\circ$ [4].

После подстановки в формулу (7) вышеуказанных значений она примет вид:

$$h = 1,27 \frac{V_o}{D^2} + 0,37D + 0,3. \quad (9)$$

Расчет размеров коллектора-сборника выполнен в пакете MathCAD 7. По результатам расчета получены зависимости диаметра коллектора-сборника от расхода воздуха (рис. 3) и высоты коллектора-сборника от его диаметра и концентрации транспортируемой смеси μ , кг/кг (рис. 4).

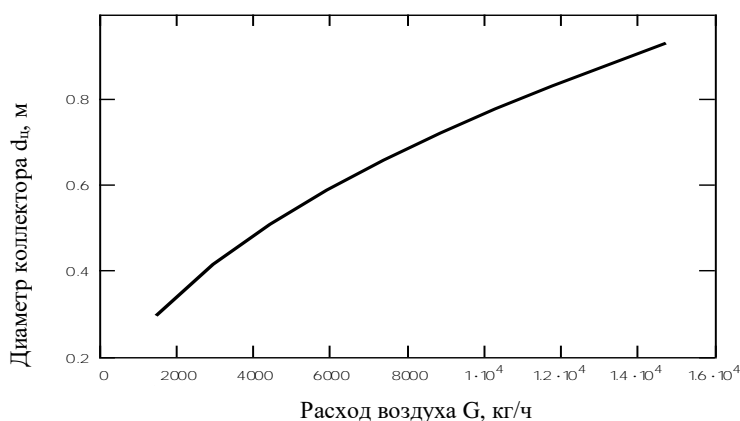


Рис. 3. Зависимость диаметра коллектора-сборника от расхода воздуха

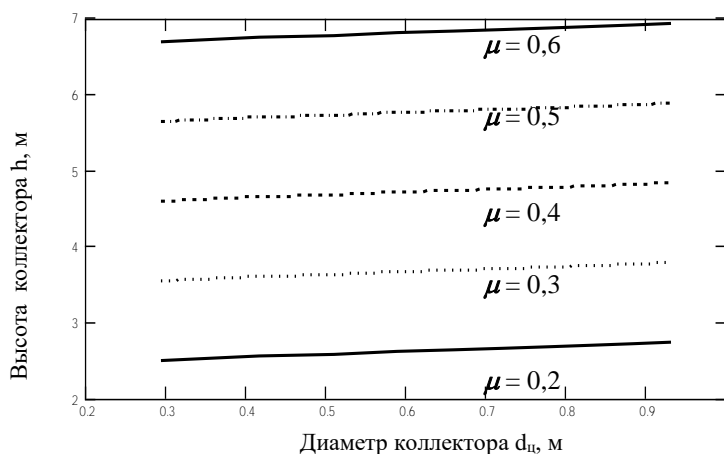


Рис. 4. Номограмма определения высоты коллектора-сборника

Экспериментальные исследования в основном выполнены в лаборатории промышленной вентиляции Полоцкого государственного университета и частично в различных цехах деревообрабатывающих предприятий.

Целью экспериментальных исследований было определение эффективности пылеулавливания и сопротивления экспериментального вертикального коллектора-сборника, используемого в качестве первой ступени очистки, установление режимов его работы при изменении концентрации вредных в аэромеси и расхода воздуха при отключении от пневмосети неработающих станков.

Для оперативной количественной оценки эффективности предлагаемого для систем пневмотранспорта древесных отходов в качестве первой ступени очистки вертикального коллектора-сборника и оптимизации режимов его работы применено планирование эксперимента, составлена матрица планирования результатов эксперимента и выведена модель процесса

$$\eta_k = 86,5 + 0,012L + 0,158L\mu - 24\mu, \quad (10)$$

где η_k – эффективность экспериментального коллектора-сборника, %; L – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$; μ – концентрация смеси, $\text{кг}/\text{кг}$.

Опыты были проведены при изменяющемся расходе воздуха от 120 до 180 $\text{м}^3/\text{ч}$. Концентрация аэромеси принималась в соответствии с реальными значениями 0,1...0,5 $\text{кг}/\text{м}^3$. Результаты опытов представлены в виде графиков на рис. 5, 6.

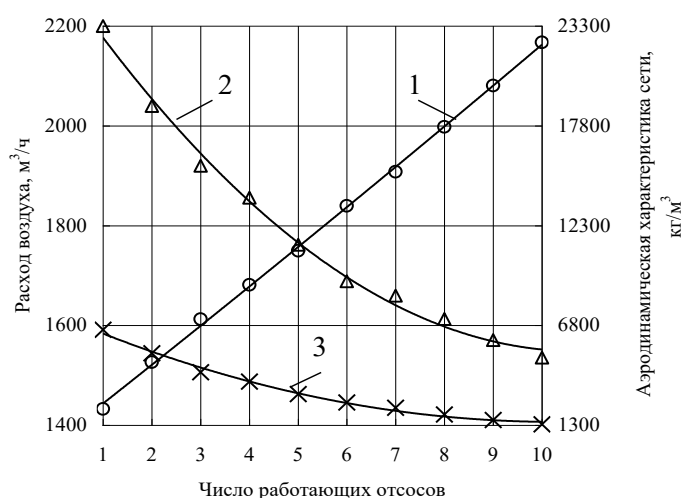


Рис. 5. Аэродинамические параметры пневмоустановки:
1 – расход воздуха; 2 – аэродинамическая характеристика пневмоустановки;
3 – аэродинамическая характеристика сети коллектора-сборника

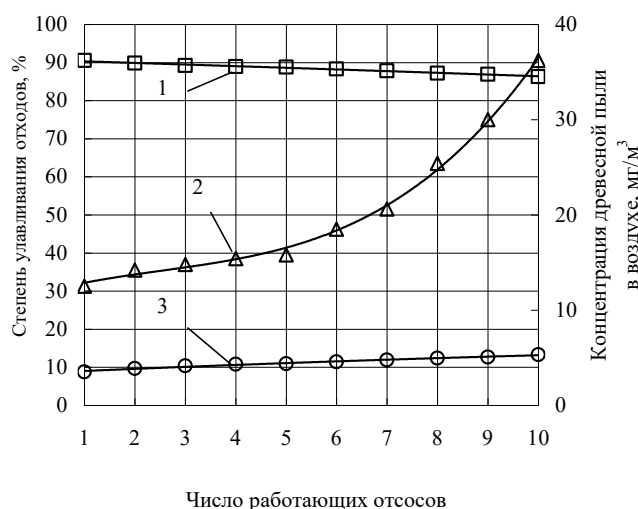


Рис. 6. Степень улавливания отходов при работе модернизированной системы пневмотранспорта:
1 – количество отходов, уловленных в коллекторе-сборнике; 2 – концентрация пыли в воздушных выбросах;
3 – количество отходов, уловленных циклоном

Анализ зависимостей (рис. 5, 6) позволяет утверждать следующее:

- аэродинамическая характеристика, а следовательно и сопротивление сети коллектора-сборника при десяти режимах работы составляют незначительную часть сопротивления сети всей установки;

- отключение от пневмосети временно неработающих станков несмотря на некоторое увеличение сопротивления сети за счет уменьшения расхода воздуха существенно снижает энергозатраты на пневмотранспорт; если учесть обычно принимаемый коэффициент одновременности работы станков равным 0,6, то в проведенном опыте потребляемая мощность электроэнергии уменьшается на 21,2 %;

- основная масса древесных отходов (86...90 %) оседает в вертикальном коллекторе-сборнике, отсюда отпадает необходимость в дальнейшем их транспортировании дорогим пневматическим способом, требующим значительных затрат электрической энергии; наблюдается тенденция к некоторому незначительному уменьшению оседающей в коллекторе массы отходов с увеличением числа одновременно работающих отсосов, что объясняется различием режимов поступления отходов в корпус коллектора; для устранения этого недостатка необходимо воздухопроводы отсосов присоединять к корпусу коллектора наклонно вниз под углом 40...50°;

- дополнительная экономия электроэнергии порядка 40 % достигается вследствие того, что основная масса крупных древесных отходов перемещается по материалопроводам на короткое расстояние от станков до коллектора-сборника, что ведет к снижению потерь давления;

- в циклон попадает лишь 8...13 % от всей массы мелких по фракциям отходов, причем с увеличением числа одновременно работающих отсосов, нагрузка на циклон несколько возрастает, хотя степень очистки остается почти на постоянном достаточно высоком уровне (93...97 %), что объясняется наличием стабилизатора скорости и весьма малой массой выбрасываемой в атмосферу мелкодисперсной пыли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрусталева Б.М., Кислов Н.В. Пневматический транспорт. – Мн.: Информационная служба недвижимости, 1998. – 452 с.
2. Отопление и вентиляция. Ч. 2. Вентиляция / В.Н. Богословский, В.И. Новожилов, Б.Д. Симаков и др. – М.: Стройиздат, 1976. – 440 с.
3. Пат. РБ № 365 на полезную модель, МПК В 08 В 15/00. Аспирационный вертикальный коллектор-сборник / Королева Т.И. Заявлено 26.12.2000; Опубл. 30.09.2001 // Официальный бюллетень / Гос. пат. ведомства Респ. Беларусь. – 2001. – № 3.
4. Козориз Г.Ф. Пневматический транспорт деревообрабатывающих предприятий. – М.: Машиностроение, 1968. – 120 с.