

УДК 621.924.95

Воронин С.Е., Долгополов В.Г., Костенко И.В., Курцев С.Н., Скрипкин Н.Р., Федянин А.В.

## ОБ УВЕЛИЧЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРОБЕСТРУЙНОЙ КАМЕРЫ ВСАСЫВАЮЩЕГО ТИПА

### Введение

В настоящее время в машиностроении широко применяется струйно-абразивная обработка материалов для очистки отливок от формовочных и стержневых смесей, разнообразного вида поковок от окалины, металлопроката от ржавчины и металлургической окалины, а также для подготовки поверхности под окраску, зачистки кромок под сварку, пайку, склейку, упрочнения поверхностного слоя металла, декоративной отделки материалов и т.д. Благодаря высоким производственным показателям (простота эксплуатации, малая стоимость оборудования и низкие эксплуатационные расходы), способ струйно-абразивной очистки материалов постепенно вытесняет другие виды очистки (огневая, химическая, механическая и т.д.).

### Анализ существующих установок

В зависимости от вида энергоносителя, сообщаемого движением зернам абразива, струйно-абразивные способы очистки поверхности могут быть различны (абразивно-пневматический, абразивно-центробежный, абразивно-гравитационный и др.) [6].

Рассмотрим несколько видов установок для абразивно-пневматической очистки. На рис. 1 показана дробеструйная камера всасывающего типа.

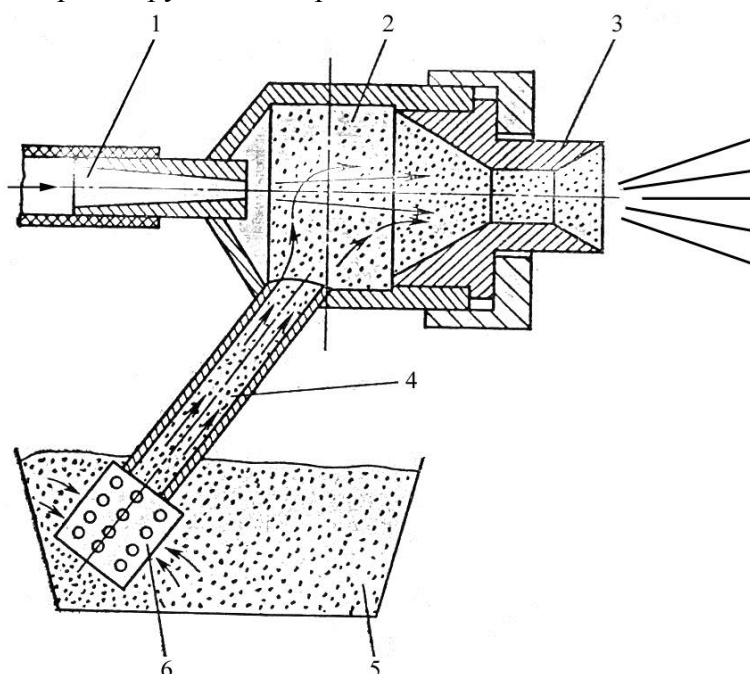


Рисунок 1 – Дробеструйная камера всасывающего типа:

1 – сопло; 2 – камера-смеситель; 3 – калибрующее сопло; 4 – патрубок; 5 – бункер; 6 – насадок

В аппаратах всасывающего типа струя воздуха, выходящая из сопла 1, создает в камере-смесителе 2 и патрубке 4 разрежение, в результате которого в патрубок 4 через отверстия в насадке 6 засасывается атмосферный воздух, перемещающий металлическую дробь из бункера 5 в смеситель. Металлическая дробь подхватывается потоком воздуха из сопла 1, направляется в калибрующее сопло 3 и из него в виде абразивной струи подается на обрабатываемую поверхность. Аппараты всасывающего типа используются для непрерывного процесса очистки, имеют простую систему питания, но при одинаковых диаметрах рабочего сопла и одинаковых значениях параметров (давление воздуха, тип и грануляция дроби) производительность по абразиву (кг/мин) у аппаратов всасывающего типа на 15–25 % ниже, чем у аппаратов нагнетательного типа (рис. 2, 3).

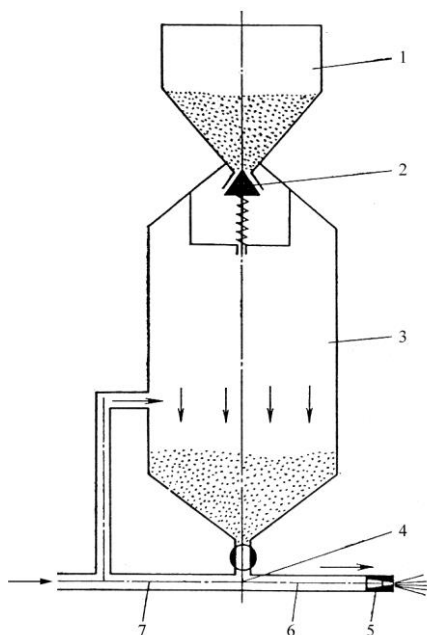


Рисунок 2 – Дробеструйный аппарат нагнетательного типа периодического действия:

- 1 – бункер; 2 – клапан; 3 – камера;
- 4 – смеситель; 5 – сопло; 6 – шланг;
- 7 – трубопровод

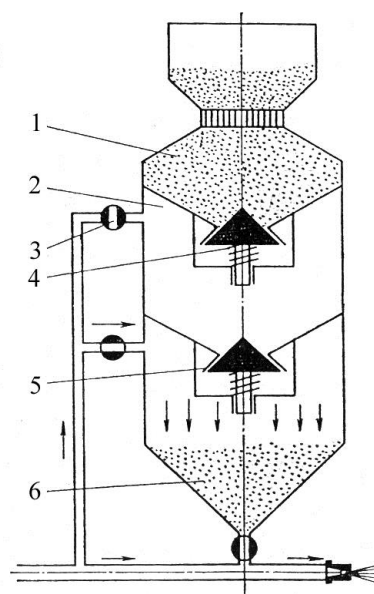


Рисунок 3 – Дробеструйный аппарат нагнетательного типа непрерывного действия:

- 1 – бункер; 2 – верхняя камера; 3 – вентиль;
- 4 – клапан; 5 – клапан; 6 – нижняя камера

В аппаратах нагнетательного типа периодического действия (рис. 2) абразив из питательного бункера 1 через клапан 2 периодически подается в камеру 3, находящуюся под давлением сжатого воздуха. Из камеры абразив поступает в смеситель 4, где подхватывается потоком воздуха, поступающего из магистрали по трубопроводу 7. Смесь воздуха с абразивом по шлангу 6 поступает к соплу 5 и затем в виде струи направляется на обрабатываемую поверхность.

Такие установки имеют рабочую камеру, в которую засыпается определенная порция абразива. После израсходования абразива аппарат перезаряжают, для чего снижают давление в рабочей камере, открывают клапан 2 и засыпают новую порцию абразива.

С целью ликвидации остановов технологического процесса очистки, связанных с наполнением камеры абразивом, применяются аппараты непрерывного действия или двухкамерные (рис. 3).

Работа двухкамерных аппаратов заключается в следующем: из бункера 1 в верхнюю камеру 2 через клапан 4 засыпается абразив. Когда абразив в нижней рабочей камере 6 кончается, в верхней камере открывается вентиль 3 и создается давление, равное давлению в рабочей камере. Клапан 4 под действием давления в верхней камере закрывается, что прекращает поступление абразива. Клапан 5 ввиду равенства давлений в камерах 2 и 6 открывается и абразив, под действием силы тяжести, из верхней камеры пересыпается в рабочую, после чего давление в верхней камере сбрасывают, клапан 5 под действием избыточного давления в рабочей камере запирает горловину, прекращая доступ абразива в рабочую камеру. Из бункера под действием силы тяжести очередная порция абразива через открывшийся клапан 4 поступает в верхнюю камеру – и процесс повторяется.

### Цель и постановка задачи

Целью данной работы является выбор путей модернизации существующей установки, повышающих ее производительность.

В механическом цехе была установлена дробеструйная камера всасывающего типа, в процессе эксплуатации которой выявилось нарушение нормального функционирования, проявляющееся в прекращении подачи дроби в рабочую камеру через сопло при стабильном рабочем давлении воздуха в магистрали – 0,6 МПа.

Анализ рабочего процесса дробеструйного аппарата показал, что нарушение нормального функционирования происходит ввиду недостаточной подачи рабочего материала к соплу 3 (рис. 1) из-за большой протяженности дробепроводного шланга и большого перепада высот от места забора дроби до рабочего сопла. Кроме этого угол осыпания сборного бункера не обеспечивает стабильного пополнения дроби в месте установки насадка 6.

### Пути модернизации и расчет параметров

Переоборудование такого аппарата в аппарат нагнетательного типа затруднительно, поэтому для устранения выявленных недостатков и увеличения производительности аппарата было предложено заменить штатное сопло (рис. 4) на эжекторный пистолет (рис. 5).

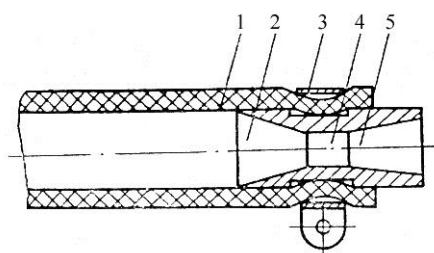


Рисунок 4 – Сопло дробеструйного аппарата:

- 1 – шланг; 2 – заходная часть;
- 3 – хомут; 4 – калибрующая часть;
- 5 – направляющая часть

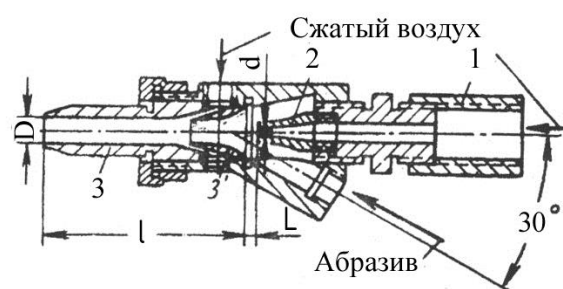


Рисунок 5 – Эжекторный пистолет:

- 1 – муфта; 2 – сопло; 3 – смеситель; 3' – дополнительный смеситель

При равных давлении, диаметре сопла и рабочем материале, производительность эжекторного пистолета и скорость потока значительно выше за счёт создания до-

полнительного разрезания в результате подвода потока вторичного воздуха на вход смесителя 3 (см. рис. 5).

Кроме этого для обеспечения бесперебойной подачи рабочего материала к эжекторному пистолету был установлен винтовой транспортер с регулируемым приводом и изменен угол осыпания бункера.

Схема модернизированной установки представлена на рис. 6.

Для выбора оптимальных параметров модернизированной установки (геометрических параметров эжекторного пистолета, производительности винтового транспортера и угла осыпания бункера) был выполнен следующий расчет, при заданных параметрах воздушной магистрали и дробепроводного шланга.

Условно принимаем, что абразивный материал (дробь) есть шарик, диаметром  $d$  и плотностью  $\gamma_T$ .

Объем шарика:

$$V = \frac{\pi d^3}{6},$$

а его масса:

$$G = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \gamma_T.$$

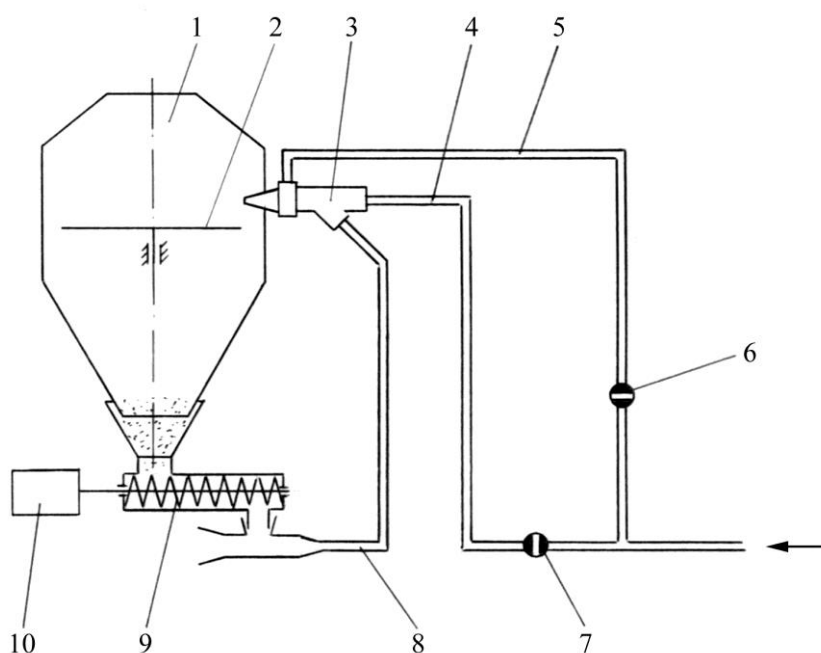


Рисунок 6 – Модернизированная дробеструйная установка:

1 – бункер; 2 – рабочий стол; 3 – эжекторный пистолет; 4, 5 – воздуховоды; 6, 7 – вентили; 8 – дробепроводный шланг; 9 – винтовой транспортер; 10 – привод транспортера

Аэродинамическая (подъемная) сила, действующая на шарик в вертикальном дробепроводном шланге, в соответствии с [3] будет равна:

$$T = kf \frac{(V - V_T)^2}{2g} \gamma ,$$

где  $k$  – коэффициент лобового сопротивления частицы;  $f$  – площадь проекции частицы на плоскость, перпендикулярную направлению воздушного потока;  $V$  – скорость обтекающего потока;  $V_T$  – скорость твёрдой частицы;  $\gamma$  – плотность воздуха;  $g$  – ускорение свободного падения.

Для твёрдой частицы шарообразной формы аэродинамическая сила будет равна:

$$\dot{O} = k \frac{\pi d^2}{4} \frac{(V - V_{\dot{O}})^2}{2g} \gamma .$$

Рассмотрим случай, когда  $V_T = 0$ , т.е.  $G = T$ .

$$\frac{\pi d^3}{6} \cdot \gamma_T = k \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{V^2}{2g} \gamma ,$$

откуда

$$V = 1.15 \sqrt{\frac{d \gamma_T \cdot g}{k \gamma}} .$$

Для тела шарообразной формы принимаем  $k = 0,23$  [2], расчетная плотность воздуха

$$\gamma = 1,244 \cdot \xi ,$$

где  $\xi = 0,75$  для всасывающих установок – коэффициент типа установки [2].

Таким образом, определена критическая скорость воздушного потока, необходимая для подъема твёрдой частицы.

Для обеспечения устойчивости транспортирования дроби необходимо выполнить условие:

$$V_p = 0,5(V + V_K) ,$$

где  $V_p$  – средняя рабочая скорость воздушного потока;  $V_K$  – конечная скорость воздушного потока (зависит от дальности транспортирования и перепада высот).

Мы получили  $V_p$  для частицы, имея конкретный воздуховод установки и дробепроводный шланг. Можно определить необходимый расход воздуха для переноса одной частицы.

$$Q = V_p \cdot F_B ,$$

где  $F_B$  – площадь сечения воздуховода, равная

$$F_B = \frac{\pi d_{\phi}^2}{4} ,$$

где  $d_{ш}$  – диаметр дробепроводного шланга.

Следовательно

$$Q = V_P \frac{\pi d_{ш}^2}{4}.$$

Установка запитана от воздушной магистрали с определенными давлением и расходом. Определяем расход абразивного материала в единицу времени

$$\dot{I} = \frac{Q_{\dot{o}}}{Q} \cdot G,$$

где  $M$  – расход абразивного материала;  $Q_{ц}$  – расход воздушной системы;  $G$  – масса частицы.

Для определения геометрических параметров эжекторного пистолета воспользуемся теорией струйных аппаратов изложенной в [7]. В бездиффузорных струйных аппаратах соотношение площадей камеры смешения и рабочего сопла равно

$$\frac{F_D}{F_d} = \frac{P_P}{P_C} \cdot \frac{\left(1 + U \sqrt{\frac{T_H}{T_P}}\right)}{V_C},$$

где  $F_D = \frac{\pi D^2}{4}$  – площадь сечения камеры смешения;  $F_d = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь критического сечения рабочего сопла;  $P_P$  – рабочее давление;  $P_C$  – давление в камере смешения;

$U = \frac{Q_H}{Q_P}$  – коэффициент инжекции;  $Q_H$  – массовый расход инжектируемого потока;

$Q_P$  – массовый расход рабочего потока;  $T_H$  – температура инжектируемой среды;  $T_P$  – температура рабочей среды;  $V_C$  – скорость потока в камере смешения (определяется по таблицам).

Площадь сечения рабочего сопла определяем из выражения

$$F_d = \frac{G_P \cdot a_P}{K_P \cdot \ddot{I}_{D^*} \cdot P_P \cdot q_P},$$

где  $G_P$  – массовый расход рабочего потока;  $a_P = \sqrt{2 \frac{K_P}{K_P + 1} \cdot \sqrt{P_P \cdot V_P}}$  – критическая скорость рабочего потока;  $K_P$  – показатель адиабаты;  $V_P$  – удельный объем рабочей среды;

$\ddot{I}_{D^*} = \left(\frac{2}{K_P + 1}\right)^{\frac{K_P}{K_P - 1}}$  – относительное давление для критического сечения;  $q$  – газодинамическая функция (определяется по таблицам).

Из приведенных зависимостей и с учетом экспериментальных данных (рис. 7) [5] определяем  $D$  и  $d$ .

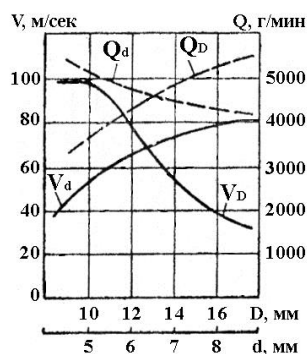


Рисунок 7 – Зависимость расхода и скорости дробы от D и d

Для бесперебойного пополнения винтового транспортера абразивным материалом определим необходимый угол осыпания бункера исходя из схемы, представленной на рис. 8.

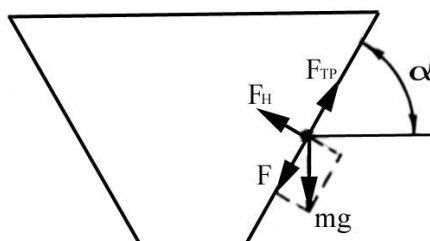


Рисунок 8 – Схема для определения угла осыпания бункера

Очевидно, что для гарантированного осыпания рабочего материала должно выполняться условие

$$F > F_{\text{тр}},$$

где  $F$  – сила осыпания материала равная

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha,$$

а  $F_{\text{тр}}$  – сила трения абразивного материала о стенки бункера равная

$$F_{\text{тр}} = \mu F_N = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения рабочего материала о стенки бункера с учётом его увлажнения и слёживаемости;  $F_N$  – нормальная сила.

Исходя из необходимого количества рабочего материала, определяем параметры винтового транспортера.

Производительность винтового транспортера по [1] равна

$$Q_i = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) S n \varphi,$$

где  $D$  – наружный диаметр шнека;  $d$  – диаметр вала;  $S$  – шаг винтовой линии;  $n$  – число оборотов в минуту;  $\varphi$  – коэффициент производительности.

**Результаты модернизации**

По результатам проведенных расчётов и макетирования были изготовлены: дополнительная секция с увеличенным углом осыпания рабочего материала, винтовой транспортер с возможностью регулирования оборотов для дозированной подачи рабочего материала и эжекторный пистолет с возможностью регулирования подачи вторичного воздуха путём изменения зазора  $L$  (рис. 5).

В результате этих мероприятий была полностью устранена возможность засорения дробепроводного шланга абразивным материалом. Функционирование дробеструйного аппарата стало бесперебойным и стабильным.

Произведенные замеры рабочих параметров показали высокую степень совпадения расчетных и рабочих параметров. Так при  $d_{\text{СОПЛ}} = 5$  мм,  $P_{\text{РАБ}} = 0,6$  МПа расчетная производительность модернизированной установки составила 0,03 кг/с, а замеренная – 0,028 кг/с при максимальном разрежении. Расчетная производительность исходной установки составляла 0,02 кг/с, что  $\approx$  на 30 % ниже полученного результата.

Измерения производились при температуре окружающей среды равной 20 °С и атмосферном давлении 760 мм.рт.ст. Наличие возможности регулирования эжекторного сопла и подающего рабочий материал механизма, позволило компенсировать колебания давления в подающей магистрали без применения дополнительных средств стабилизации (воздушных редукторов и т.п.).

**Вывод**

Данный метод повышения производительности дробеструйного аппарата всасывающего типа может быть рекомендован для крупносерийного и массового производства, а также в местах с большой протяженностью дробепроводных путей.

**Литература**

1. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М., Машиностроение. 1972. –184 с.
2. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины. – М, Машиностроение. 1974. –431с.
3. Калинушкин М.П. Пылесосные установки. – М., Стройиздат. 1964. –116 с.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М. – Л., Госэнергоиздат. 1975. –568 с.
5. Пичко А.С. Дробеструйные эжекторные пистолеты. Литейное производство. №3, 1966. с. 16–18.
6. Пичко А.С. Струйно-абразивная обработка. М., НИИМАШ, 1968. –31с.
7. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М., Энергия. 1970. – 288 с.

УДК 621.924.95

Воронін С.Є., Долгополов В.Г., Костенко І.В., Курцев С.М., Скріпкін М.Р., Федянін О.В.

**ПРО ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДРОБЕСТРУМІННОЇ КАМЕРИ ВСМОКТЮЮЧОГО ТИПУ**

У статті здійснено розрахунок подачі абразивного матеріалу для дробеструмінної камери всмоктуючого типу та запропонована схема її модернізації.