

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ШУМА ПРОМЫШЛЕННОГО ПЫЛЕСОСА ДЛЯ ПРЯДИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О.С. КОЧЕТОВ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Цель данной статьи обусловлена актуальностью работ по снижению виброакустической активности пылеуловителя марки П-2, при эксплуатации которого наблюдалось превышение уровней шума, регламентированных ГОСТом 12.1.003–83 [1].

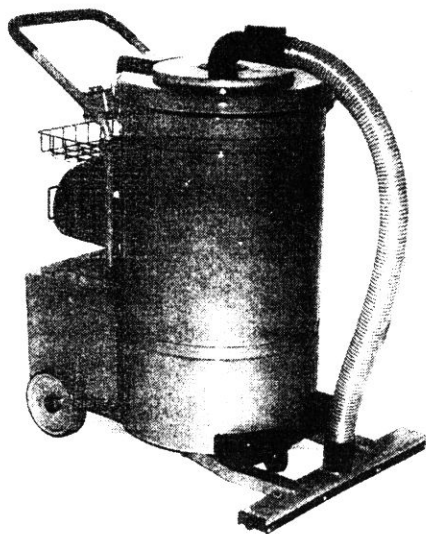


Рис. 1

Технические характеристики промышленного пылесоса П-2 (рис. 1):

расход воздуха на входе в пылесос, м ³ /ч, не менее	400
разрежение на входе в пылесос, кПа, не менее	13
емкость волокобсборника, дм ³ , не менее	70
габаритные размеры (без шлангов и насадков), мм:	
длина	1100
ширина	480
высота	1090
характеристика побудителя тяги:	
число лопастей	z = 12
число оборотов двигателя	n = 9000 об/мин

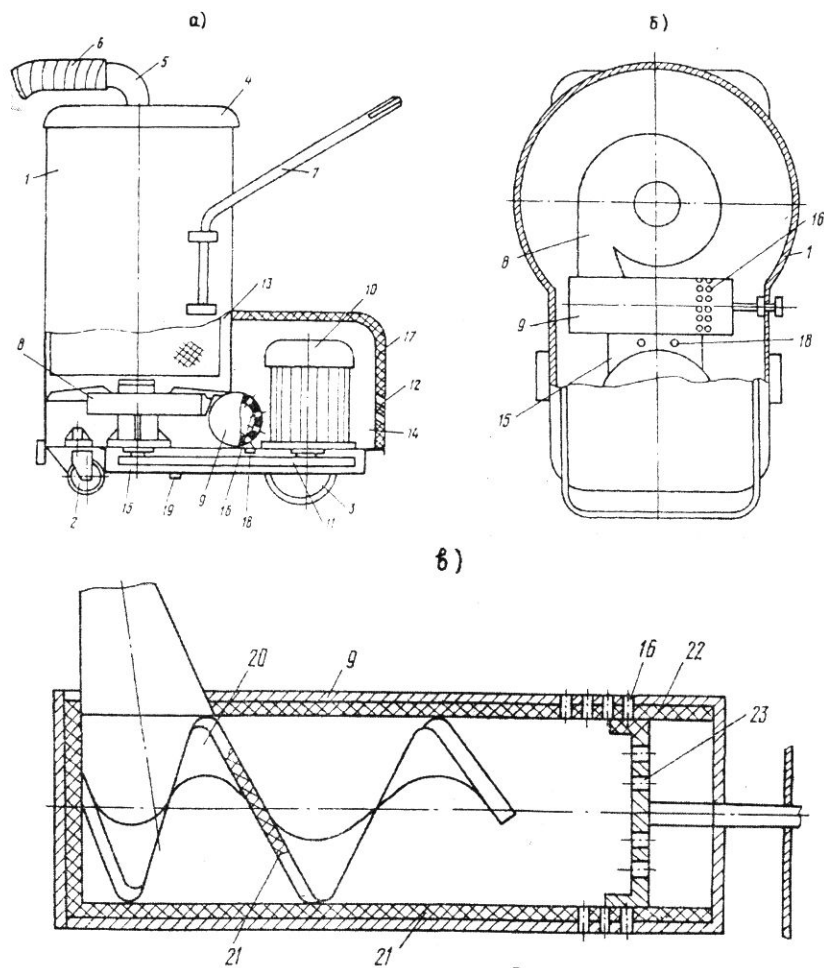


Рис. 2

На рис. 2-а представлен общий вид промышленного пылесоса П-2 (фронтальная проекция). Пылесос содержит корпус 1, расположенный на колесах 2 и 3, крышку 4 с входным патрубком 5 и шлангом 6, ручку 7. Внутри корпуса размещены вентилятор 8 с перфорированным выходным патрубком 9 (длина 260 мм, диаметр 80мм), электродвигатель 10, связанный с вентилятором ременной передачей 11, и жалюзи 12 для выхода воздуха.

Корпус состоит из отсеков (13...15) соответственно для пылесборника, вентилятора с двигателем и ременной передачи. Отверстия 16 выходного патрубка 9 (рис. 2-б – горизонтальный разрез пылесоса) обращены в сторону двигателя 10 для его охлаждения путем обдува. Отсек 14 для размещения двигателя снабжен звукопоглощающим кожухом 17 и выполняет функцию камерного глушителя шума. Отсек 15 для ременной передачи представляет собой герметичную камеру с входным

18 и выходным 19 отверстиями и выполняет функцию реактивного глушителя шума.

При вращении лопастей вентилятора 8 возникает разрежение, в которое устремляется воздух, всасываемый через входной патрубок 5 и попадающий в волокносорбник 13, а затем – в выходной патрубко-глушитель 9.

Выходной патрубко-глушитель 9 (рис. 2-в – продольный разрез) состоит из активной и резонансной частей. Активная часть глушителя шума выполнена в виде спиралеобразного канала 20 с углом раскрытия, равным углу раскрытия улитки вентилятора, что позволяет снизить потери давления на выходе и повысить КПД пылесоса. Канал 20 облицован звукопоглощающим материалом 21, что способствует значительному звукопоглощению звуковой энергии вследствие ее диссипации в порах звукопоглощающего материала.

Резонансная часть глушителя шума содержит узел для настройки резонансной

частоты и расхода воздуха в зависимости от скорости вращения вентилятора, который состоит из поршня 22 с перфорацией 23, шток которого связан с ручкой регулировки хода поршня. С помощью этой ручки регулируется объем резонансной камеры для настройки ее на нужный частотный диапазон.

В пылесосе П-2 новым техническим решением [2] является то, что его аэродинамическая схема организована таким образом, что отдельные полости выполняют функции глушителей шума. Так, например, замкнутая полость 14 (350×350×300 мм) является камерным глушителем шума, каналами которой служат: входным – отверстия 16, а выходным – жалюзи 12.

Настройка такого глушителя на требуемый частотный диапазон осуществляется за счет объема замкнутой полости 14 и позволяет ему пропускать звук ниже граничной частоты 400 Гц, препятствуя распространению колебаний звуковых волн, частота которых выше граничной. Кроме того, поглощение звуковой энергии осуществляется слоями звукопоглощающего материала, расположенного по периметру звукоизолирующего кожуха 17, ограничивающего полость 14.

Герметичная камера 15 (800×200×70 мм) с входным 18 и выходным 19 отверстиями, ограждающая ременную передачу, связывающую электродвигатель 10 с вентилятором 8, также выполняет функцию камерного реактивного глушителя шума, который пропускает звук ниже граничной частоты 800 Гц, и препятствует распространению колебаний звуковых волн, частота которых выше граничной.

$$S = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 5 \cdot 400^2 (350 \cdot 350 \cdot 300 - 3,14 \cdot 130^2 \cdot 280)}{340^2 \cdot 10^6} = 5974,85 \text{ мм}^2,$$

$$n = \frac{4S}{\pi d_{\text{вх}}^2} = \frac{4 \cdot 5974,85}{3,14 \cdot 10^2} = 76.$$

При расчете таких глушителей следует иметь в виду тот факт, что эффективность однокамерного глушителя будет равна нулю при $L_k = \frac{\lambda}{2} i$, где $i = 0, 1, 2, 3, \dots$, то есть

Остановимся на расчете и настройке камерного глушителя шума, образованного замкнутой полостью 14 (350×350×300 мм) и каналами: входным (отверстия 16) и выходным (жалюзи 12). Следует отметить, что эффективный объем данного камерного глушителя меньше на величину объема, занимаемого электродвигателем 10, расположенным внутри полости 14. Обычно в таких расчетах выбирают граничную частоту пропускания шума, а затем рассчитывают объем камеры глушителя шума исходя из габаритных размеров пылесоса.

В нашем случае объем камеры глушителя ограничен размерами кожуха 17 и электродвигателя 10 (условный цилиндр диаметром 260 мм и высотой 280 мм), поэтому будем рассчитывать размеры входного и выходного каналов при заданном объеме, определяемом по формуле

$$V_k = \frac{c^2 S}{4\pi^2 l_{\text{тр}} f_{\text{гр}}^2}, \quad (1)$$

$$S = \frac{4\pi^2 l_{\text{тр}} f_{\text{гр}}^2 V_k}{c^2}, \quad (2)$$

где c – скорость звука в воздухе (340 м/с); $S = \pi n d_{\text{вх}}^2 / 4$ – площадь проходного сечения трубопровода, состоящего из n отверстий; $d_{\text{вх}}$ – диаметр отверстий проходного сечения трубопровода, соединяющего вентилятор с глушителем (в нашем случае он равен $d_{\text{вх}} = 0,01$ м); $l_{\text{тр}}$ – длина участков трубопровода соответственно до и после камеры, м.

при длине камеры, равной целому числу полувольт. Поэтому необходимо выполнить проверку соблюдения этого условия:

$$L_k < \frac{\lambda}{2} < \frac{c}{2 f_{\text{гр}}} < \frac{340}{2 \cdot 400} < 0,425 \text{ м}, \quad (3)$$

или

$0,35 \text{ м} < 0,425 \text{ м}$, то есть условие выполнено.

Подсчитаем частоту лопастного шума от побудителя тяги (центробежного вентилятора) на частоте вращения:

$$f = n_1 z / 60 = (9000 \cdot 12) / 60 = 1800 \text{ Гц}.$$

где n_1 – число оборотов диска в минуту; z – число лопаток на диске.

Для повышения эффективности глушителя шума 9 на этой частоте в него встроен резонансный реактивный глушитель, включающий резонансную полость, отделенную от корпуса глушителя 9 поршнем 22 с отверстиями 23, являющимися горловиной резонатора Гельмгольца.

Максимальное поглощение энергии для одиночного резонатора будет наблюдаться на резонансной частоте:

$$f_p = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{K_p}{V_p}}, \quad (4)$$

где K_p – проводимость отверстий 23, соединяющих полость глушителя 9 с резонаторной камерой объемом V_p , м^3 :

$$K_p = \frac{NS_p}{\ell_p + 0,8d_p}, \quad (5)$$

$$K_p = \frac{NS_p}{\ell_p + 0,8d_p} = \frac{20 \cdot 3,9 \cdot 10^{-3}}{0,01 + 0,8 \cdot 0,005} = 5,6 \text{ м},$$

где $S_p = \pi d_p^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,005^2 / 4 = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ – площадь проходного сечения одного отверстия 23 горловины резонатора диаметром d_p , м^2 ; ℓ_p – глубина отверстия, м ; N – число отверстий.

Задаваясь резонансной частотой $f_p = 1800 \text{ Гц}$ (для настройки резонансной части глушителя на частоту "лопастного" импульсного шума вентилятора) и параметрами горловины резонатора (проводимостью отверстий K_p), определяем величину объема V_p резонаторной полости согласно габаритным размерам глушителя:

$$V_p = \frac{c^2 K_p}{4\pi^2 f_p^2} = \frac{340^2 \cdot 5,6}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 1800^2} = 5,07 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Теперь определим эффективность снижения уровня шума данного глушителя на частоте возбуждения $f = 1850 \text{ Гц}$, близкой к резонансной частоте $f_p = 1800 \text{ Гц}$:

$$\Delta L = 10 \lg \left\{ 1 + \frac{\left[\frac{\sqrt{K_p V_p}}{2S} \right]^2}{\left(\frac{f}{f_p} - \frac{f_p}{f} \right)} \right\},$$

$$\Delta L_{1850} = 10 \lg \left\{ 1 + \frac{\left[\frac{\sqrt{5,6 \cdot 5,07 \cdot 10^{-3}}}{2 \cdot 5,02 \cdot 10^{-3}} \right]^2}{\left(\frac{1850}{1800} - \frac{1800}{1850} \right)} \right\} = 49,4 \text{ дБ},$$

(6)

где $S = \pi D_k^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,08^2 / 4 = 5,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения камеры (в нашем случае камера глушителя выполнена на цилиндрической); f и f_p – возбуждающая и собственная частоты резонатора соответственно, Гц.

Следует отметить, что эффективность резонансной части глушителя на частоте интенсивной тональной составляющей спектра, какой в нашем случае является составляющая лопастного шума, равная 1800 Гц, будет больше, чем расчетное значение 49,4 дБ на частоте 1850 Гц. На среднегеометрической частоте 2000 Гц расчетная эффективность $\Delta L_{2000} = 22,7$ дБ.

Для снижения общего шума, создаваемого побудителем тяги, корпус рекомендуется изготовить из листового железа толщиной 1,5 мм, а его облицовку выполнить слоистыми шумопоглощающими панелями согласно ТУ 38105674–80, состоящими из слоя битума, выполняющего функции вибродемпфирующего материала, и звукопоглощающего слоя нетканого материала.

Теперь рассмотрим результаты экспериментальных исследований акустических характеристик пылесоса П-2.

При исследованиях использовали комплект акустической аппаратуры типа ИШВ-1, отвечающий требованиям к измерительным комплексам по ГОСТу 17187–82 и ГОСТу 17168–82. Испытываемый пылесос был установлен свободно на полу в цехе с размерами: длина $D = 20$ м; ширина $W = 12$ м; высота $H = 3,4$ м.

Режим работы пылесоса соответствовал вращению крыльчатки вентилятора со скоростью $n = 9000$ об/мин. Количество точек измерения равнялось пяти, а число измерений в каждой точке – трем. Расчет шумовых характеристик пылесоса П-2 проводили согласно ОСТу 27-72-218-85 [3]; при этом получено, что акустические характеристики пылесоса П-2 с глушителями шума на входе и выходе из вентилятора при частоте вращения $n = 9000$ об/мин и плотности установки $q = 0,01$ шт/м² соответствуют требованиям ГОСТа 12.1.003–83.

Перед началом испытаний в цехе замеряли уровень помех, дБ (табл. 1).

Таблица 1

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	«А»
$L_{\text{помех}}$, дБ	55	52	46	45	43	44	44	21	50

Таблица 2

Условия измерений	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Точка №2 (без шланга на входе и без глушителя на выходе, то есть исходная конструкция)	68	76	80	82	81	82	73	68
Точка №2 (шланг и глушитель на выходе без резонансной части)	66	69	75	72	71	79	69	66
Эффективность активной части	2	7	5	10	10	3	4	2
Точка №2 (шланг и глушитель на выходе с резонансной полостью)	66	69	75	72	70	71	67	66
Эффективность резонансной части	-	-	-	-	1	8	2	-
Точка №2 (шланг и глушитель на выходе без звукопоглощающего кожуха)	65	71	76	77	73	73	69	67
Точка №2 (шланг и глушитель на выходе с кожухом, то есть П-2 в малозумном исполнении)	65	70	72	72	69	70	65	64
Эффективность кожуха	-	1	4	5	4	3	4	3
Эффективность всего комплекса мероприятий по снижению шума	3	6	8	10	12	12	8	4

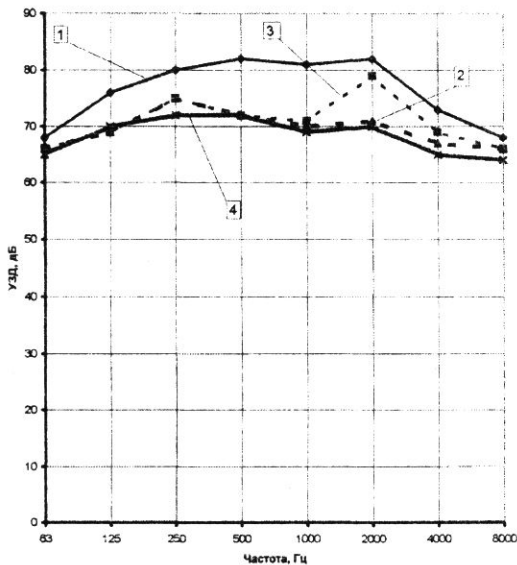


Рис. 3

По результатам проведенных исследований, представленных в табл.2, где приведены уровни звукового давления, дБ, измеренные в т. №2 (на расстоянии 1м от всасывающего патрубка) пылесоса П-2, и на рис/ 3 (кривая 1 – без шланга на входе и без глушителя на выходе, то есть исходная конструкция; 2 – шланг и глушитель на выходе с резонансной полостью; 3 – шланг и глушитель на выходе без резонансной части; 4 – шланг и глушитель на выходе с кожухом, то есть П-2 в малозумном исполнении), можно заключить следующее:

– эффективность установки глушителей (глушителя шума на входе в виде гофрированного шланга с насадком для сбора пыли и активного глушителя шума на выходе) составляет 2...10дБ;

– эффективность резонансной части глушителя шума на выходе в полосе частот, равной октаве со среднегеометрической частотой 2000 Гц, составляет 8 дБ;

– эффективность звукоизолирующего кожуха, закрывающего электродвигатель и

образующего в аэродинамической схеме камерный глушитель шума, составляет 3...5 дБ;

– эффективность всего комплекса мероприятий по снижению шума пылесоса П-2 составляет 4...12 дБ.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчета и создана конструкция аэродинамического глушителя шума на выходе пылесоса типа П-2 комбинированного типа, то есть состоящего из активной и резонансной полостей, причем отсек для размещения двигателя снабжен звукопоглощающим кожухом и выполняет функцию камерного глушителя шума.

2. Результаты проведенных испытаний подтвердили основные положения методики и выбранных расчетных схем и показали, что общая эффективность мероприятий по снижению шума пылесоса типа П-2 при скорости побудителя тяги 9000 об/мин составляет 8...12 дБ, а уровни звукового давления на рабочих местах не превышают санитарно-гигиенические нормы.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 12.1.003–83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – М.:Госстандарт, 1984.
- А.с. № 1595455 СССР. Пылесос / Семов А.Д., Кочетов О.С., Шубин.А.В. – Оpubл. 1990. Бюл. № 36.
- ОСТ 27-72-218-85. ССБТ. Оборудование для легкой промышленности и производства химволокон. Методы определения характеристик. – М.:ВНИИЛтекмаш,1985.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 02.10.03.