УДК 621.521:621.3.016.2

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-112-116

© А. М. Гримитлин, д-р техн. наук, профессор

© A. M. Gritmitlin, Dr. Sci. Tech., Professor

© А. Ю. Мартыанова, канд. техн. наук, доцент

© A. Yu. Martyanova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© И. И. Суханова, канд. техн. наук, доцент

© I. I. Sukhanova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: marta@spbgasu.ru, inna.suhanova@mail.ru

E-mail: marta@spbgasu.ru, inna.suhanova@mail.ru

РАСЧЕТ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ

CALCULATION OF VACUUM DEDUSTING SYSTEMS

Одним из основных элементов вакуумных систем обеспыливания являются воздуховоды, диаметры которых зависят от многих факторов: физико-механических характеристик материала, скорости транспортирования перемещаемого материала и др. Разработана компьютерная программа, позволяющая учесть большинство из перечисленных факторов и получить данные для подбора требуемой мощности вакуумного насоса.

Ключевые слова: системы обеспыливания, вакуумный насос, пылеуборка, скорость транспортирования, алгоритм расчета.

One of the main elements of vacuum dedusting systems is the air duct. The diameters of air ducts depend on many factors such as physical and mechanical properties of the material used, the speed of the transferred material transportation, etc. There has been developed a computer program that allows to take into account most of the listed above factors and obtain data for selecting the required power value of the vacuum pump.

Keywords: vacuum dedusting systems, vacuum pump, dust removal, speed of transportation, calculation algorithm.

Усиление контроля за соблюдением требований к качеству воздуха рабочей зоны на предприятиях строительной индустрии заставляет модернизировать существующие системы либо устанавливать вакуумные системы обеспыливания [10].

Обладая несомненными преимуществами, такими как высокий показатель экологичности, чистота, удобство использования в загруженных пространствах, вакуумные системы обеспыливания не лишены недостатков, одним из которых является сравнительно высокий расход электроэнергии на единицу массы транспортируемого материала [2, 4] и, как следствие, их высокая стоимость. Учитывая этот значимый фактор, особое внимание должно быть уделено обоснованному расчету систем, их проектированию и подбору оборудования [8, 12].

Для того чтобы исключить ошибки проектирования на этапе определения диаметров воздуховодов, расчета расхода воздуха и потерь давления в вакуумных системах обеспыливания [5],

разработана компьютерная программа. Создавая программу, авторы учли, что для заказчика важно знать ориентировочную стоимость системы. Зачастую предварительный подбор оборудования выполняет не специалист, а менеджер, поэтому программа должна быть доступной в использовании. Получив информацию о длине и конфигурации воздуховодов, перемещаемом материале, с помощью программы можно выполнить расчеты и определить как предварительную стоимость оборудования, так и (после разработки схемы) подробный расчет диаметров воздуховодов.

Исходными данными для проектирования и расчета вакуумных систем обеспыливания принимаются:

- физико-механические (плотность, размер, коэффициент трения) характеристики транспортируемого материала [3, 6];
- скорость транспортирования материала;
- требуемая производительность установки и место загрузки и выдачи материала;

- схема системы;
- количество одновременно работающих постов;
- материал трубопроводов.

Работу программы рассмотрим на примере расчета вакуумной системы обеспыливания трехэтажного производственного здания. Система (рис. 1) предназначена для удаления пыли с поверхности пола, технологического оборудования и строительных конструкций и состоит:

- из пылеприемников (сменных насадок для сбора пыли);
- гибких шлангов диаметром от 40 до 60 мм;
- вертикальных и горизонтальных воздуховодов;
- пылеотделителя, состоящего из циклона и рукавного фильтра;
- стационарного вакуумного насоса.

В программу заносятся данные по материалу [7], скорости транспортирования [11], а также по системе: производитель воздуховодов, число одновременно работающих постов, необходимая производительность по материалу или массовая концентрация материала. В вакуумных системах пылеуборки особые требования к производительности по материалу нередко не предъявляются, поэтому достаточно внести данные по мас-

совой концентрации материала. После того как занесены данные по потерям в пылеуловителе, выбирается расчетная ветка системы, которая разбивается на расчетные участки.

К расчету принимаются три варианта при условии работы одного поста:

- воздуховод на участке 2–3 принимается одного диаметра;
- количество участков принимается разное, для данной системы — до шести участков.

В окно расчета заносятся принятое количество расчетных участков, диаметры и длины воздуховодов, число отводов и тройников, скорость воздуха на втором участке, которая должна быть не меньше скорости транспортирования.

Результаты расчета системы вакуумной пылеуборки приведены (рис. 2):

1) для трех участков 1–2, 2–3 и 3–4 с диаметром шланга и воздуховода 50 мм (вариант 1, рис. 2, а);

2) для трех участков с диаметром шланга 60 мм и воздуховода 65 мм (вариант 2, рис. 2, б);

3) для четырех участков 1–2, 2–2₄, 2₄–3 и 3–4 (вариант 3, рис. 2, в).

В вакуумных системах из-за значительного перепада давления в воздуховодах происходит

Рис. 1. Схема системы вакуумной пылеуборки

а)

Размер частиц, мм	10	Минимальная скорость в воздуховоде, м/с	23	Проводимость воздуховодов	РФ(ГОСТ_3262-75)	Массовая концентрация материала, кг/кг	0,7	Число одновременно работающих постов	1	сброс
Плотность частиц, кг/м ³	800	Коэффициент транспортирования частиц	0,6	Проводимость по материалу, кг/м ³		Потери давления на пылеуловителе, Па	1000	расчет	выход	
Скорость транспортирования*, м/с	20									
Расчетная скорость транспортирования, м/с	23									

Вариант 1 | Вариант 2 | **Вариант 3** | Вариант 4 |

Количество участков: 3

Участки	Диаметр воздухопровода, мм	Длина шланга, м	Скорость воздуха, м ³ /ч	Длина воздуховода, м, при направлении				Под углом вверх	Угол наклона	Кол-во отводов	Кол-во тройников	Расход воздуха, м ³ /ч
				Вертикальное вверх	Горизонтальное	Под углом вверх	Угол наклона					
Шланг	50	10,0										
2	50		23		96,5					5		
3	50		30	1	13					3		241
												Потери давления в системе, Па
												25815

б)

Размер частиц, мм	10	Минимальная скорость в воздуховоде, м/с	23	Проводимость воздуховодов	РФ(ГОСТ_3262-75)	Массовая концентрация материала, кг/кг	0,7	Число одновременно работающих постов	1	сброс
Плотность частиц, кг/м ³	800	Коэффициент транспортирования частиц	0,6	Проводимость по материалу, кг/м ³		Потери давления на пылеуловителе, Па	1000	расчет	выход	
Скорость транспортирования*, м/с	20									
Расчетная скорость транспортирования, м/с	23									

Вариант 1 | Вариант 2 | **Вариант 3** | Вариант 4 |

Количество участков: 3

Участки	Диаметр воздухопровода, мм	Длина шланга, м	Скорость воздуха, м ³ /ч	Длина воздуховода, м, при направлении				Под углом вверх	Угол наклона	Кол-во отводов	Кол-во тройников	Расход воздуха, м ³ /ч
				Вертикальное вверх	Горизонтальное	Под углом вверх	Угол наклона					
Шланг	60	10,0										
2	65		23		96,5					5		
3	65		28	1	13					3		370
												Потери давления в системе, Па
												19911

в)

Размер частиц, мм	10	Минимальная скорость в воздуховоде, м/с	23	Проводимость воздуховодов	РФ(ГОСТ_3262-75)	Массовая концентрация материала, кг/кг	0,7	Число одновременно работающих постов	1	сброс
Плотность частиц, кг/м ³	800	Коэффициент транспортирования частиц	0,6	Проводимость по материалу, кг/м ³		Потери давления на пылеуловителе, Па	1000	расчет	выход	
Скорость транспортирования*, м/с	20									
Расчетная скорость транспортирования, м/с	23									

Вариант 1 | **Вариант 2** | Вариант 3 | Вариант 4 |

Количество участков: 4

Участки	Диаметр воздухопровода, мм	Длина шланга, м	Скорость воздуха, м ³ /ч	Длина воздуховода, м, при направлении				Под углом вверх	Угол наклона	Кол-во отводов	Кол-во тройников	Расход воздуха, м ³ /ч
				Вертикальное вверх	Горизонтальное	Под углом вверх	Угол наклона					
Шланг	50	10,0										
2	50		23		66,5					3		
3	65		17		30					2		
4	65		18	1	13					3		231
												Потери давления в системе, Па
												19214

Рис. 2. Результаты расчета системы вакуумной пылеуборки: а — вариант 1; б — вариант 2; в — вариант 3

Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета систем вакуумной обеспыливания: d — диаметр частиц, мм; ρ — плотность частиц, кг/м³; ω — скорость транспортирования, м/с; G — производительность по материалу, кг/м³; μ — массовая концентрация, кг/кг; p — потери давления на пылеуловителе, Па; i — количество участков, шт.; D — диаметр воздуховода, мм; L — длина участка, м; S — площадь сечения, мм²; Q — расход воздуха, м³/ч; Δp — потери давления в системе, Па

увеличение массового расхода воздуха Q , м³/с [1]:

$$Q_i = \frac{Q_{i-1} \rho_{vi-1}}{\rho_{vi}};$$

$$\rho_v = \frac{p_{атм} - \Delta p}{292,7T},$$

где Q — расход воздуха на участке, м³/с; ρ_v — плотность воздуха, кг/м³; i — номер участка;

$p_{атм}$ — атмосферное давление, Па; Δp — потеря давления на участках, Па; T — температура воздуха, К.

Следовательно, при неизменном диаметре воздуховода увеличивается скорость воздуха. Для снижения потерь давления в системе рекомендуется рассмотреть возможность увеличения диаметра воздуховода на таких участках. Поэтому в варианте 3 участок 2–3 рассчитан с изменением диаметра воздуховода.

Если на одном из участков скорость воздуха получается меньше скорости транспортирования (рис. 2, в), на данном участке необходимо изменить диаметр воздуховода и расход воздуха в системе либо исключить этот вариант расчета.

Значения расхода воздуха и потерь давления в системе воздухопроводов заносятся в программу [13] для подбора требуемой мощности вакуумного насоса [9].

На рис. 3 приведена блок-схема алгоритма расчета вакуумной системы пылеуборки.

Программа позволяет рассматривать четыре варианта расчета одновременно, сравнивать их, выбирать наиболее эффективный.

Библиографический список

1. Александров А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: справочник. М.: Лесная промышленность, 1988. 248 с.
2. Евтюков С. А., Шиманова А. А., Горшков В. Н. Теоретическое обоснование процесса пневмотранспорта слежавшихся сыпучих строительных материалов // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 200–204.
3. Евтюков С. А., Шапунов М. М. Пневматический транспорт в строительстве / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ООО ИД «Петрополис», 2012. 306 с.
4. Калинушкин М. П. Вакуумная пылеуборка на предприятиях легкой промышленности. М.: Легпромбытиздат, 1987. 72 с.
5. Логачев И. Н., Логачев К. И. Аэродинамические основы аспирации. СПб.: Химиздат, 2005. 659 с.
6. Малевич И. П., Серяков В. С., Мишин А. В. Транспортировка и складирование порошкообразных строительных материалов. М.: Стройиздат, 1984. 184 с.
7. Минко В. А., Логачев И. Н. Обеспыливающая вентиляция. М.: Теплотехник, 2009. 464 с.

8. Суханова И. И., Мартыянова А. Ю. Пневмотранспорт полидисперсных частиц // Вестник гражданских инженеров. 2009. № 3 (20). С. 55–58.

9. Царегородцев М. М., Мартыянова А. Ю., Суханова И. И. Выбор мощности вакуумного насоса в системах пневмотранспорта // Актуальные проблемы строительства: материалы 68-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов 15–17 апреля 2015 г. Ч. 1. СПб.: СПбГАСУ, 2015. С. 196–199.

10. Полонский В. М. Охрана воздушного бассейна заводов строительной индустрии. Самара, 2006. 200 с.

11. Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Теория, техника и проектирование на рубеже столетий: В 2 т. СПб.: At-Publishing, 2007. Т. II, ч. 2. 512 с.

12. Суханова И. И., Полушкин В. И., Ситников Э. А. Пневматическая пылеуборка в промышленных производствах // Безопасность жизнедеятельности. 2008. № 5 (89). С. 23–27.

13. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015619490 Российская Федерация. Подбор мощности вакуумного насоса в системах пневмотранспорта / А. Ю. Мартыянова, И. И. Суханова; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 04.09.2015.

References

1. Aleksandrov A. N. *Pnevmotransport i pyleulavlivayushchie sooruzheniya na derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiyakh* [Pneumatic transport and dust removal facilities in sawmill enterprises]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988, 248 p.

2. Evtyukov S. A., Shimanova A. A., Gorshkov V. N. *Teoreticheskoe obosnovanie protsessa pnevmotransporta slezhavshikh sypuchikh stroitel'nykh materialov* [Theoretical substantiation of the process of pneumatic transportation of sticky granular materials]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 6 (59), pp. 200–204.

3. Evtyukov S. A., Shapunov M. M. *Pnevmaticheskii transport v stroitel'stve* [Pneumatic transport in construction]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis, 2012, 306 p.

4. Kalinushkin M. P. *Vakuumnaya pyleuborka na predpriyatiyakh legkoy promyshlennosti* [Vacuum dust removal at the enterprises of light industry]. Moscow, Legprombytizdat Publ., 1987, 72 p.

5. Logachev I. N., Logachev K. I. *Aerodinamicheskie osnovy aspiratsii* [Aerodynamic basics of aspiration]. St. Petersburg, Khimizdat Publ., 2005, 659 p.

6. Malevich I. P., Seryakov V. S., Mishin A. V. *Transportirovka i skladirovanie poroshkoobraznykh stroitel'nykh materialov* [Transportation and storage of powdery building materials]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984, 184 p.

7. Minko V. A., Logachev I. N. *Obespylivayushchaya ventilyatsiya* [Dedusting ventilation]. Moscow, Teplotekhnika Publ., 2009, 464 p.

8. Sukhanova I. I., Mart'yanova A. Yu. *Pnevmotransport polidispersnykh chastits* [Pneumatic transport of polydisperse particles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2009, no. 3 (20), pp. 55–58.

9. Tsaregorodtsev M. M., Mart'yanova A. Yu., Sukhanova I. I. *Vybor moshchnosti vakuumnogo nasosa v sistemakh pnevmotransporta* [Selection of power value of the vacuum pump in pneumatic systems]. *Trudy 68-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i doktorantov 15–17 aprelya 2015 g. «Aktual'nye problemy stroitel'stva»* [Proc. of the 68th Int. sci.- pract. conf. of students, postgraduates, young scientists and doctoral students, April 15–17, 2015 "Actual problems of construction"]. Pt. 1. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2015, pp. 196–199.

10. Polonskiy V. M. *Okhrana vozdušnogo basseyna zavodov stroitel'noy industrii* [Protection of the air pool of the construction industry enterprises]. Samara, 2006, 200 p.

11. Sotnikov A. G. *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukh i ventilyatsii. Teoriya, tekhnika i projektirovanie na rubezhe stoletiy* [Design and calculation of ventilation and air conditioning systems. Theory, engineering and design at the turn of the century]. In 2 vols. St. Petersburg, At-Publishing Publ., 2007, vol. II, pt. 2, 512 p.

12. Sukhanova I. I., Polushkin V. I., Sitnikov Eh. A. *Pnevmaticheskaya pyleuborka v promyshlennykh proizvodstvakh* [Pneumatic vacuum cleaning in industrial production]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti – Life-sustaining activity safety*, 2008, no. 5 (89), pp. 23–27.

13. Mart'yanova A. Yu., Sukhanova I. I. *Podbor moshchnosti vakuumnogo nasosa v sistemakh pnevmotransporta* [Selection of power value of vacuum pump pneumatic conveying systems]. Certificate of the state registration of computer program RF, 2015, no. 2015619490.