

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-15-20

Ильина Т.Н., Крюков И.В., Колесников М.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: ilina50@rambler.ru*

АСПИРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПОКРАСОЧНЫХ ЦЕХАХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. Организация воздухообмена в помещениях покрасочных цехов и очистка удаляемого воздуха играют важную роль не только в обеспечении технологических и комфортных параметров микроклимата, но и защите окружающей среды от вредных выбросов. В работе рассмотрены способы окраски металлических изделий, дана характеристика используемых красок. Представлен перечень вредных веществ, выделяемых при окраске изделий, и их влияние на организм человека. На примере покрасочного цеха предприятия ОАО «Белагромаш-Сервис имени В.М. Рязанова», дан анализ существующих систем общеобменной и местной вентиляции. С учетом технологического процесса и расположения покрасочных постов разработана система вытяжной вентиляции. Предложены конструкции и расположение вытяжных зонтов, предотвращающих поступление вредных веществ от поста окраски металлоизделий в рабочую зону. В аспирационную систему подобран центробежно-барботажный аппарат (ЦБА) с высокой эффективностью очистки удаляемого воздуха. Модель движения воздуха, удаляемого от поста окраски, и распределения в нем вредностей, рассчитаны в программе Solid Works.

Ключевые слова: покрасочный цех, вредные вещества, общеобменная вентиляция, местные отсосы, вытяжной зонт, аспирационная система, очистной аппарат.

Введение. Для поддержания безопасности в производственном цехе важное значение приобретает рациональный способ организации вентиляции. Воздух покрасочных цехов, как правило, содержит большое количество аэрозолей, ядовитых паров растворителей и разбавителей. Высокое содержание вредных веществ опасно для здоровья человека, а также может привести к взрыво- или пожароопасной ситуации на производстве [1, 2].

Создание и поддержание нормируемых санитарно-гигиенических условий труда в производственных помещениях, где происходят пирро- и гидротехнологические процессы, являются актуальными задачами. Подобные процессы сопровождаются значительными вредными выделениями в виде избытков теплоты, паров, газов, аэрозолей, пыли [3]. Для устранения избыточных поступлений вредных выделений в первую очередь необходимо обратить внимание на организацию технологических процессов. Снизить концентрацию вредных веществ, поступающих в рабочее помещение, до нормы предельно допустимой концентрации (ПДК), как правило, достаточно трудно. Поэтому для создания комфортно-технологических условий необходима грамотная организация не только общеобменной, но и местной вентиляции. При этом основной задачей является расчет местных отсосов, разработка конструкции и режима их эксплуатации. Комплексное решение данной проблемы должно включать также очистку удаляемого воздуха для защиты окружающей среды от вредных воздействий и

предотвращения загрязнения атмосферы вне этих помещений.

Таким образом, задачей проектирования систем создания параметров микроклимата покрасочных цехов является расчет комплексной аспирационной системы с применением местных отсосов с последующей очисткой удаляемого воздуха.

Основная часть. В качестве примера рассмотрено предприятие ОАО «Белагромаш-Сервис имени В.М. Рязанова», которое является одним из крупнейших заводов по производству сельскохозяйственной техники. Также оно является крупнейшим заводом по производству почвообрабатывающей техники и имеет множество патентов на выпускаемую продукцию. Покрасочный цех предприятия находится в общем объеме помещения ангара с другими цехами производства и складами [3].

Покрасочный цех включает отделение для приготовления красок, склад, контейнеры для отходов лакокрасочных материалов (ЛКМ). Окраска проводится в камере с автономной системой приточно-вытяжной вентиляции. Технологическая линия содержит два последовательно расположенных рабочих поста. Всего на участке окраски работают 5 человек: маляры, подсобные рабочие.

Окраска изделий производится распылением пневматическим способом, который является одним из наиболее распространенных методов окраски. Он позволяет использовать широкий спектр лакокрасочных материалов, наносить

краску на детали различных размеров и сложности с получением требуемого качества окраски. Однако данный способ приводит к высоким потерям лакокрасочной продукции (15–50 %), сопровождается большим расходом растворителя, и конечно, пожароопасностью и токсичностью технологического процесса. Наиболее вредными выделениями на данном этапе являются пары растворителей (ксилол, уайт-спирит, сольвент), аэрозоль краски [4]. Для предотвращения коррозии деталей при дальнейшей их эксплуатации проводится сушка изделий в течение суток. Для удаления вредных выделений над рабочими местами, а также над краскоприготовительным отделением установлена местная вытяжная вентиляция.

Для определения производительности систем местной вентиляции произведен расчет количества загрязняющих веществ, выделяющихся на окрасочном участке. Расчет производили с учетом годового расхода краски и их марки, расхода и марки растворителей, содержания в них аэрозолей краски и растворителя, содержания летучей части компонентов [2, 4].

Расчет количества загрязняющих веществ, выделяющихся при сушке и окраске изделий, выполнен отдельно для элементов краски и для растворителей. Результаты расчета валового выброса загрязняющих веществ, содержащихся в растворителе, краске, грунтовке, разбавителе, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количества выброса загрязняющих веществ

Марка ЛКМ	Доля летучей части (растворителя), %	Количество аэрозоля краски, кг/год	Состав ЛКМ	Содержание компонента в летучей части ЛКМ, %	Расчет выбросов загрязняющих веществ, кг/год	
					При окраске, кг/год	При сушке, кг/год
Эмаль ПФ-115	45,0	25,4	Ксилол	50,0	4,763	14,288
			Уайт-спирит	50,0	4,763	14,288
Грунт ФЛ-03К	30,0	5,1	Уайт-спирит	50,0	1,913	5,738
Сольвент	100,0	–	Сольвент	100,0	27,583	16,083
Ксилол	100,0	–	Ксилол	100,0	11,500	34,500

Производительность системы вентиляции в теплый период определена из расчета удаления вредных паров лакокрасочных материалов с учетом количества образующихся вредных выделений (Гвр) и значений предельно допустимой концентрации соответствующих компонентов (ПДК). Для дальнейших расчетов аспирационной системы принимается максимальное значение производительности.

В зимний период система приточной вентиляции будет выполнять функцию воздушного отопления, поэтому был выполнен теплотехниче-

ский расчет ограждений и определены теплопотери помещения покрасочного цеха. По результатам теплотехнического расчета определена теплопроизводительность системы воздушного отопления.

Объемный расход воздуха для ассимиляции вредных веществ рассчитывается по формуле 1:

$$L_{вр} = G_{вр} / \rho, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1)$$

Результаты расчетов расходов для каждого типа выделяемого вредного вещества приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет воздухообмена по выделяющимся вредностям

Наименование вещества, выделяемого в помещение	ПДК, мг/м ³	Z _{ух} , мг/м ³	Класс опасности	Мвр		Требуемый расход, Гвр		Требуемый расход, Лвр	
				При окраске, кг/ч	При сушке, кг/ч	При окраске, кг/ч	При сушке, кг/ч	При окраске, м ³ /ч	При сушке, м ³ /ч
Ксилол	50	55	III	0,08	0,25	1795,6	5386,9	2154,7	6464,3
Уайт-спирит	300	330	IV	0,03	0,10	122,8	368,5	147,4	442,2
Сольвент	100	110	IV	0,14	0,08	1522,8	887,9	1827,3	1065,5

Основным условием эффективной работы местной вытяжной вентиляции является достоверный расчет количества удаляемого воздуха и

выбор рациональной конструкции местного отсоса.

Вытяжные зонты предназначены для улавливания вредных веществ и, как правило, устанавливаются над пылящим и газовыделяющим оборудованием с устойчивым конвективным потоком. Классическая схема вытяжного зонта представлена на рис. 1. С поверхности источника вредных выделений поднимается поток струи. Этот поток захватывает частицы пыли, пары и образующиеся газы и уносит их вверх к вытяжному зонту.

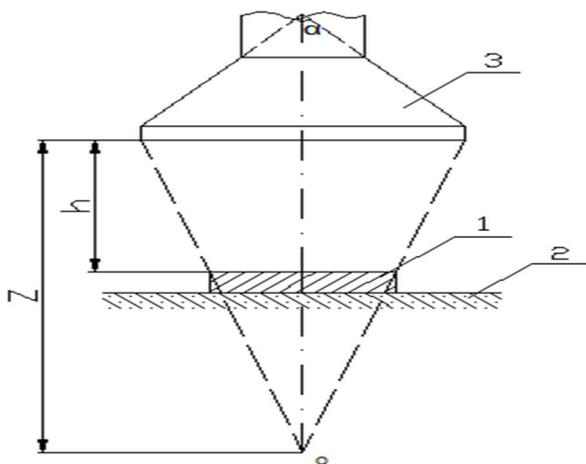


Рис. 1. Схема вытяжного зонта:
1 – источник вредных выделений;
2 – бетонное основание; 3 – зонт

При расчете вытяжных зонтов необходимо учитывать диаметр или размеры источника вредных выделений – d , или a и b , м; температуру источника t_n , °С; предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м³.

Для оценки эффективности работы вытяжного зонта определяли скорости движения воздуха в расчётном сечении вытяжного зонта. Расчётное сечение вытяжного зонта рассматривается как боковая поверхность усеченной пирамиды (усеченного конуса), с основанием в виде площади приёмного сечения (зеркало) зонта. С поверхности приёмного сечения происходят выделения вредных веществ, через боковые поверхности зонта к тепловой струе подтекает окружающий воздух.

Для определения скорости движения воздуха в расчётном сечении и площади расчётного сечения зонта выполнены соответствующие вычисления. Согласно существующим рекомендациям [5, 6], рассчитан эквивалентный диаметр источника, выбрано расстояние от поверхности вредных выделений до зеркала зонта из соотношения $1,5 \text{ м} < h < 2 \cdot d_{из}$. Определено расстояние Z от полюса тепловой струи (O) до зеркала зонта: $Z = h + 2 \cdot d_{из}$, м. Определен диаметр d_z сечения теплового факела на удалении Z от полюса струи $d_z = 0,45 \cdot Z^{0,88}$, м. Рассчитана скорость движения

воздуха в расчётном сечении зонта $\omega = L_1/F_p$. Модель движения воздуха, удаляемого от поста покраски, рассчитана в программе Solid Works. Расчет проводился для наибольшего количества выделяющихся вредностей, а именно ксилола, массовый расход которого от одного поста составил 0,041 кг/ч при температуре воздуха в помещении 18 °С. Физико-химические параметры ксилола, а именно, динамическая вязкость составляет 0,809 Па·с, плотность при 18 °С 0,862 кг/м³.

Как видно из таблицы 2, наибольший расход требуется для удаления ксилола и составляет 6464 м³/ч. Для данного расхода воздуха рассчитан вытяжной зонт с размерами 3700×2600×800(н), присоединительный диаметр зонта $\varnothing 560$ мм. Скорость потока воздуха в сечении составляет 0,2 м/с.

Согласно технологии, перемещение окрашиваемых металлоконструкций в покрасочном цехе осуществляется с помощью крана. Поэтому вытяжной зонт целесообразно сместить от источника вредных выделений к стене помещения. Для подтверждения рационального расположения вытяжного зонта, максимально улавливающего вредные выделения, произведена модель движения воздуха и распределения вредностей, выделяемых постом окраски и улавливаемых вытяжным зонтом.

Как видно на рис. 2, практически все вредные выделения с поста окраски, вовлекаются в поток воздуха, удаляемого вытяжным зонтом, и не поступают в помещение. Таким образом, спроектированный местный отсос полностью справляется с поставленной задачей.

На рис. 3 показано распределение скоростей воздушного потока, создаваемого вытяжным зонтом. Вокруг поста окраски видно движение воздуха, улавливающего вредности, выделяемые от данного источника, которые поступают в вытяжной зонт и затем в систему очистки.

Производительность приточно-вытяжной вентиляционной системы в помещении цеха определяется согласно требованиям обеспечения дисбаланса [7].

Очистка удаляемого воздуха от аэрозолей является сложной задачей, изучению которой посвящено много работ [8–12]. Для постов окраски наиболее эффективно использование модульной окрасочной вентилируемой камеры [13]. Однако по технологии расположения оборудования в цехе это не всегда возможно.

В настоящей работе для обработки удаляемого вентиляционного воздуха был подобран центробежно-барботажный аппарат (ЦБА) в программе производителя оборудования. Эффективность очистки удаляемого воздуха составляет 99 %. Высокая степень улавливания вредных

аэрозолей позволяет использование систем утилизации тепла в удаляемом воздухе [14, 15] для

уменьшения требуемой мощности электронагревателей для холодного периода года.

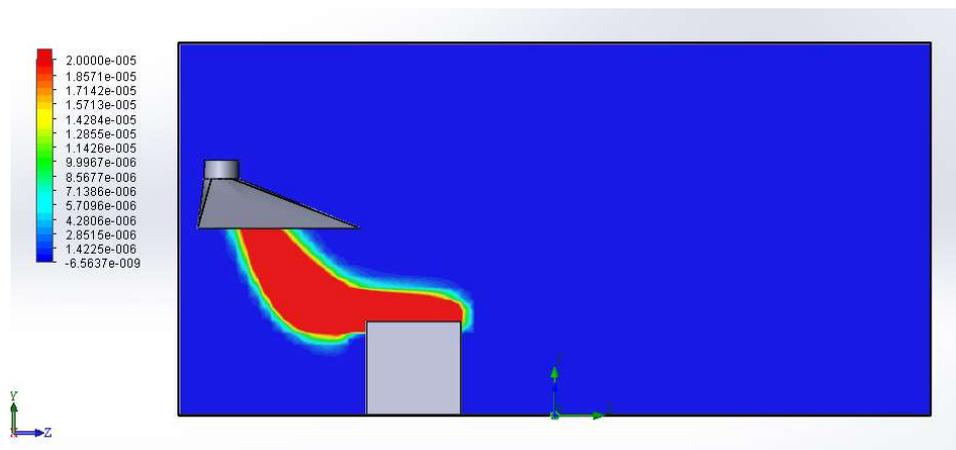


Рис. 2. Визуализация распределения вредностей, выделяемых постом окраски и улавливаемых местным отсосом (МО)

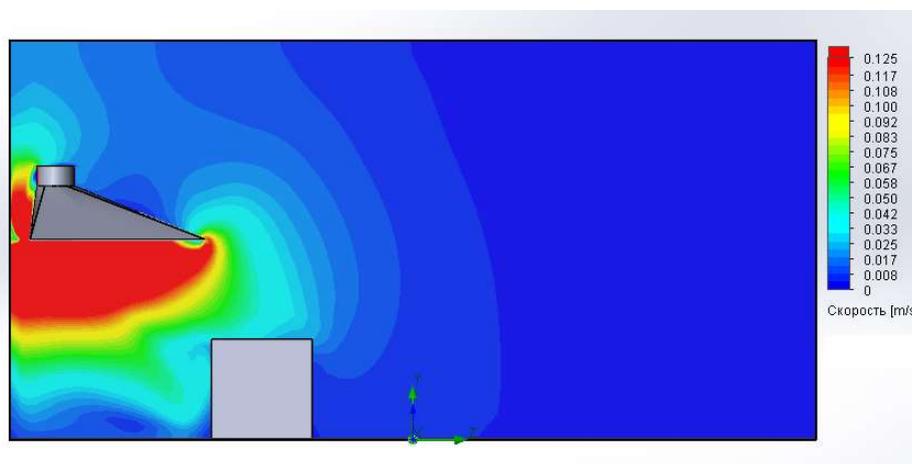


Рис. 3. Визуализация распределения скоростей воздушного потока

При высокой степени очистки вытяжного воздуха расчет концентрации паров растворителей в приземном слое атмосферы выполнять нецелесообразно.

Выводы. Таким образом, разработанная вытяжная система вентиляции, рассчитанная на удаление из рабочей зоны вредных веществ в местных отсосах с последующей очисткой удаляемого воздуха, обеспечивает нормируемые параметры воздуха в помещении покрасочного цеха. Для расчета и подбора оборудования аспирационной системы использованы специализированные программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сериков С.В., Сазонова Ю.А. Вентиляция окрасочного цеха с применением метода эжекции // Современная техника и технологии. 2012. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/05/832>

2. Фиалковская Т.А. Вентиляция при окраске изделий. М. «Машиностроение», 1978-180с.

3. Ильина Т.Н., Жилина С.С. Системы вентиляции и очистки воздуха в покрасочных цехах машиностроительных предприятий // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Алушта, 4-8 июня, 2018г. Часть 2, С.103-107.

4. Ильина Т.Н., Жилина С.С. Способы очистки удаляемого воздуха покрасочных цехов машиностроительных предприятий / Инновационные подходы в решении современных проблем использования природных ресурсов и охраны окружающей среды : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф Алушта, 3-7 июня, 2019г. Белгород: Изд-во БГТУ. 2019.Ч.1. С. 37–42.

5. Гримитлин М. И. Закономерности развития вентиляционных струй. В кн.: Теория и расчет вентиляционных струй. Л., ВНИИОТ ВЦСПС, 1965.

6. Шепелев И. А. Приточные вентиляционные струи и воздушные фонтаны // Изв. АСИА СССР. 1961. № 4.

7. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств М., Стройиздат, 1972.

8. Вальдберг А.Ю., Куцев Л.А. Расчет пыле- и каплеулавливающих установок: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010, 172с.

9. Штокман Е.А. Очистка воздуха. М: Изд-во АСВ. 2007.

10. Белевитский А.М. Проектирование газоочистных сооружений.-Л: Химия. 1990.-288с.

11. Куцев Л.А. Энергосберегающие аппараты для улавливания твердой и жидкой фазы аэрозолей. Белгород: Изд.центр «Логия», 2002. 187 с.

12. Романюк Е.В., Пигловский Н.В., Красовицкий Ю.В., Каргашилов Д.В. Разработка и совершенствование систем аспирации с использованием комбинированных фильтровальных структур: монография. Воронеж, 2015. 201с.

13. Патент 2189534, Российская Федерация, F24F3/16. Модульная окрасочная вентилируемая камера А.В. Гончаров, Б.А. Тихонов. дата подачи 09.11.2000, № заявки 2000128704/06, опубл.20.09.2002.

14. Ильина Т.Н., Бельмаз Д.Н. Анализ и способы утилизации вторичных энергоресурсов нефтеперерабатывающего предприятия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С. 170-173.

15. Сериков С.В., Ильина Т.Н. Утилизация тепла уходящих газов котельной установки в системе воздушного отопления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 53-55.

Информация об авторах

Ильина Татьяна Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ilina50@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюков Илья Валерьевич, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, кандидат технических наук. E-mail: iliya.krukov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Колесников Максим Сергеевич, магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: makskol97@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 05.02.2020 г.

© Ильина Т.Н., Крюков И.В., Колесников М.С., 2020

**Il'ina, T.N., Kryukov I.V., Kolesnikov M.S.*

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov

**E-mail: ilina50@rambler.ru*

ASPIRATION SYSTEMS IN DYEING SHOPS OF MECHANICAL ENGINEERING COMPANY

Abstract. Organizing air change in dyeing shops and cleaning of the exhaust air are of great importance for providing the technological and comfortable parameters of indoor climate, and for protecting the environment from polluting emissions. The article considers the methods of painting metal products and gives characteristics of the used paints. A list of noxious substances, evolved at painting metal products, and their influence on human's health, is presented. Through an example of a dyeing shop at the OAO «Belagromash-Servis named after V.M. Ryazanov», the existing general-dilution and local ventilation systems are analyzed. With account of the technological process and the location of paint stations an exhaust ventilation system has been developed. The designs and arrangement of exhaust hoods are suggested, which prevent hazardous substances from getting from a metal products painting station to work area. For the aspiration system a centrifugal bubble unit (CBU) with the exhaust air cleaning efficiency is selected. The motion model of air, removed from a paint station, and the distribution of noxious substances in it, is calculated in Solid Works.

Key words: dyeing shop, hazardous substances, general dilution ventilation, local exhausts, exhaust hood, aspiration system, cleaning unit.

REFERENCES

1. Serikov S.V., Sazonova Yu.A. Ventilation of a paint shop by means of ejection method [Ventilacija okrasochnogo ceha s primeneniem metoda

jezhekci. Sovremennaja tehnika i tehnologii]. Modern technique and technology. 2012. No. 5 [Electronic resource]. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/05/832>. (rus)

2. Fialkovskaya T.A. Ventilation at painting products [Ventiljacija pri okraske izdelij]. Moscow: «Machine building», 1978, 180 p. (rus)
3. Il'ina T.N., Zhilina S.S. Ventilation and air cleaning systems in paint shops of machine-building enterprises [Sistemy ventiljicii i ochistki vozduha v pokrasochnyh cehah mashinostroitel'nyh predpriyatij]. Innovative ways of solving topical problems of natural resource management and environmental protection: collection of reports of the International scientific and technical conference, Alushta, June 4-8, 2018. Part 2, Pp. 103–107. (rus)
4. Il'ina T.N., Zhilina S.S. Methods of exhaust air cleaning at paint shops of machine-building enterprises [Sposoby ochistki udaljaemogo vozduha pokrasochnyh cehov mashinostroitel'nyh predpriyatij]. Innovacionnye podhody v reshenii sovremennykh problem ispol'zovaniya prirodnykh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy : sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf Alushta, Alushta, June 3-7, 2019. Belgorod: BSTU publishing office. 2019. Part 1. Pp. 37–42. (rus)
5. Grimitlin M.I. Laws of ventilation streams development [Zakonomernosti razvitija ventiljacionnykh struj]. In the book: Theory and calculation of ventilation streams. JI., AUSRILP AUCSTU, 1965. (rus)
6. Shepelev I.A. Supply ventilation streams and air fountains [Pritochnye ventiljacionnye strui i vozdushnye fontany]. Proceedings of ACA USSR. 1961. No. 4. (rus)
7. Elterman V.M. Ventilation at chemical production [Ventiljacija himicheskikh proizvodstv]. M., Stroyizdat, 1972. (rus)
8. Valdberg A.Yu., Kushev L.A. Designing of dust-catching and mist-extraction facilities [Raschet pyle- i kapleavlivajushhih ustan]: study guide. Belgorod: BSTU publishing office. 2010. 172p. (rus)
9. Shtokman E.A. Air cleaning [Ochistka vozduha]. M.: ASV publishing house. 2007. (rus)
10. Belevitsky A.M. Designing of gas treatment facilities [Proektirovanie gazoochistnykh sooruzhenij]. L: Chemistry. 1990. 288 p. (rus)
11. Kushev L.A. Energy-saving machines for entrapment of solid and liquid aerosol phases [Jenergosberegajushhie apparaty dlja ulavlivanija tverdoj i zhidkoj fazy ajerozolej]. Belgorod: Publishing center «Logia», 2002. 187 p. (rus)
12. Romanyuk E.V. Design and improvement of aspiration systems with the use of combined filtering structures [Razrabotka i sovershenstvovanie sistem aspiracii s ispol'zovaniem kombinirovannykh fil'troval'nykh struktur]: monograph. Voronezh, 2015. 201 p. (rus)
13. Patent 2189534, Russian Federation, F24F3/16. Modular ventilated paint spray booth [Modul'naja okrasochnaja ventiliruemaja kamera]. A.V. Goncharov, B.A. Tikhonov. Application date 09.11.2000, No. of application 2000128704/06, pub.20.09.2002. (rus)
14. Il'ina T.N., Belmaz D.N. Analysis and disposal methods of secondary energy resources at oil refineries [Analiz i sposoby utilizacii vtorichnykh jenergoresursov neftepererabatyvajushhego predpriyatija]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 3. Pp. 170–173. (rus)
15. Serikov S.V., Il'ina T.N. Recovery of exhaust gases heat of a boiler plant in a hot-air heating system [Utilizacija tepla uhodjashhih gazov kotel'noj ustanovki v sisteme vozdušnogo otoplenija]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 4. Pp. 53–55. (rus)

Information about the authors

Il'ina, Tat'yana N. DSc, Professor. E-mail: ilina50@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukov, Ilija V. PhD, Assistant. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kolesnikov, Maksim S. Master student. E-mail: makskol97@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 05.02.2020

Для цитирования:

Ильина Т.Н., Крюков И.В., Колесников М.С. Аспирационные системы в покрасочных цехах машиностроительных предприятий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 15–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-15-20

For citation:

Il'ina T.N., Kryukov I.V., Kolesnikov M.S. Aspiration systems in dyeing shops of mechanical engineering company. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 15–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-15-20