

УДК 504.064.4

К.И. Илюшина¹

В.Н. Макарова²

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Владивосток, Россия

Оценка эффективности работы пылегазоулавливающих установок цеха номер два на предприятии АО «Восточная верфь»

С увеличением количества судостроительных предприятий усугубляется их негативное воздействие на окружающую среду. Такие предприятия имеют множество источников загрязнения атмосферы, и на каждом из них необходимо проводить очистку выбросов независимо от класса опасности выбрасываемых веществ, оценку работы пылегазоулавливающих установок. Важно, чтобы нормативы загрязняющих веществ соблюдались на каждом из участков промышленных предприятий. На судостроительных предприятиях расположены деревообрабатывающие цеха, в которых в процессе деревообработки выделяется древесная пыль. Очистка от древесной пыли осуществляется с помощью пылегазоулавливающих установок. В данной работе проводилась оценка эффективности работы пылегазоулавливающих установок цеха № 2 на предприятии АО «Восточная верфь». Целью данной работы являются оценка работы циклонов цеха № 2 и определение их эффективности. Предмет исследования – эффективность работы пылегазоулавливающих установок цеха №2. Методы исследования, применяемые в работе, стандартные, соответствуют действующим нормативным документам. В статье подробно рассказывается об установках для очистки отходящих газов от вредных примесей и древесной пыли. Актуальность исследования заключается в важности и значимости оценки эффективности работы пылегазоулавливающих установок, осуществляющих очистку воздуха от пылевых частиц, выделяющихся при деревообработке на судостроительном предприятии. Если не очищать рабочие помещения от пыли и не улавливать ее в специальных циклонах, она может навредить человеку и окружающей среде. Проведенные исследования показали, что эффективность циклонов цеха №2 колеблется в пределах от 54 до 60%. Полученные замеры свидетельствуют, что простота конструкции циклона позволяет в течение долгих лет поддерживать заявленную производителем эффективность работы.

Ключевые слова и словосочетания: древесная пыль, окружающая среда, пылегазоулавливающие установки, эффективность работы, судостроительное предприятие.

¹ Илюшина Ксения Игоревна – бакалавр; e-mail: ilyushina_97@inbox.ru

² Макарова Вера Николаевна – канд. техн. наук, доцент кафедры туризма и экологии; e-mail: Vera.Makarova@vvsu.ru, boyikova@mail.ru

K.I. Ilyushina

V.N. Makarova

Vladivostok State University of Economics and Service

Vladivostok. Russia

Assessment of efficiency dust and gas collector installations of floor number two at the enterprise JSC «Vostochnaya verf»

The increase in the number of shipbuilding enterprises their negative impact on the environment increases. Such enterprises have many sources of air pollution, but at each of the organized sources of air pollution it is necessary to clean the emissions regardless of the hazard class of the discharged substances, to evaluate the performance of dust and gas trapping plants. It is important that the standards of pollutants, regardless of their hazard class, are respected at each of the sites of industrial enterprises. Woodworking workshops are located at shipbuilding enterprises, where wood dust is released during wood processing. Cleaning of wood dust is carried out with the help of dust and gas trapping plants. In this work, the effectiveness of the operation of dust and gas trapping facilities of workshop No. 2 at the enterprise of Vostok-Naya Shipyard JSC was evaluated. The purpose of this work is to evaluate the work of the cyclones of workshop No. 2 and determine their effectiveness. The subject of research is the performance of dust and gas trapping plants of the shop №2. Research methods used in the standard, in accordance with current regulations. The article details the installations for cleaning waste gases from harmful impurities and wood dust. The relevance of this work lies in the importance and importance of evaluating the performance of dust and gas trapping plants that clean the air from dust particles released during woodworking at a construction company. If you do not clear the working premises of dust and do not catch it in special cyclones, then it can harm the person and the environment. Studies have shown that the effectiveness of the cyclones of the shop number 2 is in the range from 54 to 60%. The obtained measurements showed that the simplicity of the cyclone design allows for many years to maintain the efficiency of work declared by the manufacturer.

Keywords: wood dust, environment, dust and gas collector, running efficiency, shipbuilder.

Введение. По всему миру находится большое количество судостроительных и судоремонтных предприятий. Их развитие с каждым годом только возрастает, ведь с помощью специальных судов перевозка грузов, которые невозможно поставить другим путем, стала возможной, легкой и относительно быстрой. Например, на морских судах перевозятся насыпные грузы, сжиженные грузы, нефтепродукты, различная техника. Для запуска в эксплуатацию любого морского судна нужны специальные предприятия для их строительства и ремонта.

Согласно ФЗ от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. От 29.07.2018) «Об охране окружающей среды» каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации [1],

поэтому на предприятии должны соблюдаться правила, относящиеся к уменьшению загрязнения окружающей среды.

На любом судостроительном предприятии находятся цеха, где производится деревообработка. Обрабатывается древесина механическим способом. В процессе обработки древесины в атмосферу активно поступают загрязняющие вещества – пыль древесная. Древесная пыль так же как и любая другая производственная пыль оказывает вредное воздействие на человека и окружающую среду.

АО «Восточная верфь» – предприятие, занимающееся строительством и ремонтом судов водоизмещением до 2500 тонн. На территории предприятия имеются два цеха, в которых образуется древесная пыль.

Для улавливания древесной пыли на заводе АО «Восточная верфь» установлены специальные пылегазоулавливающие установки.

Целью данной работы являются оценка работы циклонов цеха № 2 и определение их эффективности.

Объектом работы являются пылегазоулавливающие установки цеха № 2 АО «Восточная верфь» (г. Владивосток).

Предмет исследования – эффективность работы пылегазоулавливающих установок цеха №2.

Методы исследования, применяемые в работе, стандартные, соответствуют действующим нормативным документам.

Научная новизна исследования – подтверждение эффективности многолетней работы циклонов за счет простоты их конструкции.

Для осуществления данной цели в цехе № 2 были проведены замеры концентрации пыли трех циклонов непосредственно до очистки и после очистки. Циклоны, на которых проводились замеры: Циклон Ц – 950, Циклон ЦН-1500 № 476, Циклон ЦН-1500 №47, отсос 1 (остальные заглушены).

Измерения проводились в соответствии с:

1) ГОСТ 33007-2014 Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков. Общие технические требования и методы контроля [2];

2) ГОСТ 17.2.4.06-90 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения[3].

3) ГОСТ 17.2.4.07-90 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения [4];

4) приказом от 15.09.17 № 498 «Об утверждении правил эксплуатации установок очистки газа» [5].

Оборудование, которое использовалось, для проведения замеров: электроаспиратор ПУ-4Э, трубка напорная конструкция НИИОГАЗ по ГОСТ 17.2.4.06, термометр стеклянный жидкостный по ГОСТ 28498, трубки пылезаборные, микроанометр жидкостный многопредельный ММН-2400, анемометр ручной МС-13, психрометр аспирационный МВ-4В, секундомер СОСпр-26-2-0.

Ход измерений и расчетов. Газоходы циклонов оборудованы специальными местами отбора проб, патрубками, необходимыми для определения фактической эффективности работы пылегазоулавливающих установок. Места расположения патрубков и их число определено в соответствии с требованиями ГОСТ.

Так как газоход имеет прямоугольное сечение, то замеры делали по вертикальной и горизонтальной измерительным сторонам. Расчет производился по формуле:

$$D_e = \frac{2A \times B}{A + B}, \quad (1)$$

где D_e – диаметр газохода, м;

A и B – внутренние размеры прямоугольного сечения, м.

Затем определялся объем расхода газа. Для этого замерялась температура и давление газа у aspirатора, плотность воздуха при нормальных условиях.

Измерения проводились при установившемся движении потока газа. Выбиралось измерительное сечение в газоходе в соответствии с ГОСТ 17.2.4.06-90. К штуцеру микроманометра со знаком «+» присоединялась полость полного давления, к штуцеру со знаком «-» присоединялась полость статического давления.

Учитывались коэффициент трубки (брался из паспорта трубки) и угол наклона микроманометра. Замеры проводились у каждого циклона до очистки и после очистки.

Результаты измерений показателей до и после очистки приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Данные измерений по каждому циклону, полученные до очистки

№ циклона	Атм. давл. воздуха, КПа	Температура газа в газоходе, °С	Давление в газоходе (P_T), КПа	Давление динамическое ($P_{д\text{им}}$), КПа	Давление статическое ($P_{ст}$), КПа	Диаметр газохода, мм
Циклон Ц-950	101,9	3	50	$P_1=70$ $P_2=62$ $P_3=65$ $P_4=75$	170	450
Циклон Ц-1500 № 476	102,8	4	32	$P_1=55$ $P_2=56$ $P_3=60$ $P_4=52$	70	450
Циклон Ц-1500 №47, отсос 1	103,0	4	30	$P_1=50$ $P_2=55$ $P_3=52$ $P_4=55$	75	450

Таблица 2

Данные измерений по каждому циклону, полученные после очистки

№ циклона	Атм. давл. воздуха, КПа	Температура газа в газоходе, С°	Давление в газоходе (P _г), КПа	Давление динамическое (P _{дин}), КПа	Давление статическое (P _{ст}), КПа	Диаметр газохода, мм
Циклон Ц-950	101,9	3	40	P ₁ =44 P ₂ =40 P ₃ =42 P ₄ =42	150	480
Циклон Ц-1500 № 476	102,8	4	40	P ₁ =10 P ₂ =12 P ₃ =12 P ₄ =10	68	480
Циклон Ц-1500 №47, отсос 1	103,0	4	30	P ₁ =10 P ₂ =12 P ₃ =15 P ₄ =10	58	440

Затем проводились следующие расчеты:

1. Динамическое давление газа $P_{дин}$, Па, рассчитывалось по формуле:

$$P_{дин} = p \times \beta \times K_m, \quad (2)$$

где p – отсчет по шкале микроманометра, Па;

β – коэффициент, зависящий от угла наклона измерительной трубки микроманометра;

K_m – коэффициент напорной трубки, определяемый при ее метрологической аттестации. Для напорных трубок конструкции НИИОГАЗ коэффициент равен 0,55–0,60.

Проводились измерения показателей (p ; β ; K_m), а затем рассчитывалось по формуле динамическое давление газа в газоходе. В каждой точке выполнялось не менее трех измерений показателей для расчета динамического давления; по результатам измерений определялось динамическое давление и рассчитывалось среднее динамическое давление для данной точки измерения. Одновременно измерялись температура газа и разрежение (давление) в газоходе, а также атмосферное давление воздуха.

Данные измерений показателей до и после очистки представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Данные измерений по каждому циклону, полученные до очистки

№ циклона	$K_{трубки}$	β (угол наклона микроманометра)	ρ_N (плотность воздуха при н.у.), кг/м ³	Давление у аспиратора (P _а), КПа	Температура у аспиратора t_a , С°
Циклон Ц-950	0,571	0,6	1,29	56	2,5
Циклон Ц-1500 № 476	0,571	0,2	1,29	35	3
Циклон Ц-1500 №47, отсос 1	0,571	0,2	1,29	28	3

Данные измерений по каждому циклону, полученные после очистки

№ циклона	$K_{\text{трубки}}$	β (угол наклона микроманометра)	ρ_N (плотность воздуха при н.у.), кг/м ³	Давление у аспиратора (P_a), КПа	Температура у аспиратора t_a , С°
Циклон Ц-950	0,571	0,6	1,29	42	2
Циклон Ц-1500 № 476	0,571	0,2	1,29	30	3
Циклон ЦН-1500 №47, отсос 1	0,571	0,2	1,29	28	3

Определение скорости газовых потоков проводилось следующим образом:

1. Рассчитывалась плотность газа, кг/м³, по формуле:

$$\rho_g = 2,695 \times \rho_N \times \frac{B + P_{cm}}{273 + t_g}, \quad (3)$$

где ρ_g – плотность газа при нормальных условия, кг/м³;

t_g – температура газа в газоходе, С°;

B – атмосферное давление воздуха, кПа.

2. Рассчитывалась скорость газопылевых потоков v , м/с:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times g \times P_{дин}}{\rho_g}}, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения (равно 9,8), м/с²;

ρ_g – плотность газа, кг/м³.

После этого определялась запыленность газопылевых потоков.

Пробоотбор на запыленность осуществлялся в тех точках, в которых были измерены скорости газопылевых потоков. Пробоотбор проводился методом внутренней фильтрации – пылеуловитель располагался внутри газохода.

Так как фильтрация внутренняя, то в качестве пылеуловителя использовались патроны с набивкой из стекловолкна. Патроны предварительно доводили до постоянной массы в сушильном шкафу при 105С°. В таблице 5 указаны данные веса патронов до забора и после забора пыли на установках до и после очистки.

**Вес патронов для каждого циклона до забора и после забора проб
до и после очистки**

№ циклона	Вес патрона до очистки		Вес патрона после очистки	
	до прокачки, г	после прокачки, г	до прокачки, г	после прокачки, г
Циклон Ц-950	24,3546	24,3490	23,9611	23,9630
Циклон Ц-1500 № 476	24,3516	24,3600	23,9817	23,9832
Циклон Ц-1500 №47, отсос 1	24,1586	24,1591	23,9817	23,9832

1. Рассчитывался объемный расход газа V , м³/с, по формуле:

$$V = S \times v, \quad (5)$$

где v – скорость газопылевых потоков в точках измерения, м/с.

2. Затем рассчитывался расход отбираемого газа по аспиратору V_p , л/мин, по формуле:

$$V_p = 2,45 \times 10^{-3} \times d^2 \times v \times \frac{B \pm P_z}{273 + t_r} \times \sqrt{\frac{q_0 \times (273 + t_p)}{q_p \times (B - P_p)}}, \quad (6)$$

где d – диаметр входного сечения наконечника или пылезаборного устройства (при внутренней фильтрации), мм;

B – атмосферное давление воздуха, Па;

P_z – давление (+) или разрежение (-) газа в месте отбора пробы, Па;

t_r – температура газа в месте отбора пробы, °С;

q_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; q_p – плотность газа, принятая при калибровке диафрагмы реометра, кг/м³;

t_p – температура газа у реометра, °С;

P_p – разрежение газа у диафрагмы реометра, Па.

3. Диаметр входного сечения наконечника (при внешней фильтрации) d , мм, рассчитывался по формуле:

$$d = \frac{24}{\sqrt{v}}, \quad (7)$$

где v – скорость газопылевых потоков в точках измерения, м/с.

Затем осуществлялся забор пыли с помощью пылезаборной трубки, с вкрученным в ее наконечник патроном. Продолжительность отбора проб длилась 10 минут. При отборе пробы пылезаборную трубку со сменным наконечником вводят в газопоток так, чтобы входное отверстие наконечника находилось в заданной точке измерительного сечения и было направлено отверстием навстречу газовому потоку.

4) Концентрация пыли Z (г/м³) рассчитывалась по формуле:

$$z = \frac{(m + m_1 + \Delta m) * 1000 * B * (273 + t_p)}{V_p * \tau * 273 * (B - P_p)}, \quad (8)$$

где V_p – расход отбираемого газа по аспиратору, л/мин;

m – масса пыли, осевшей на пылеуловителе (привес), г;

m_1 – масса пыли, осевшей в заборной трубке при внешней фильтрации, г;

Δm – поправка на изменение массы контрольных бумажных фильтров, г;

τ – время отбора пробы, мин.

5) Количество выброса в секунду w , г/с, рассчитывалось по формуле:

$$W = V \times Z, \quad (9)$$

где Z – концентрация пыли, г/м³;

V – объемный расход газа, м³/с.

После того, как все показатели рассчитаны, определялась эффективность работы установок. Эффективностью работы циклонов называется степень очистки, показывающей в процентном выражении соотношение осевшей пыли к пыли, которая содержится в поступающем потоке воздуха.

6) Эффективность работы установок (%) рассчитывалась по формуле:

$$\text{Эффективность ПГУ: } \frac{z_{\text{вых}} \times V_{\text{вых}}}{z_{\text{вх}} \times V_{\text{вх}}} \times 100\%, \quad (10)$$

где $Z_{\text{вых}}$ – концентрация пыли на выходе из очистного сооружения, г/м³;

$V_{\text{вых}}$ – объемный расход газа на выходе из очистного сооружения, м³/с;

$Z_{\text{вх}}$ – концентрация пыли на входе в очистное сооружение, г/м³;

$V_{\text{вх}}$ – объемный расход газа на входе в очистное сооружение, м³/с.

Данные расчетов по работе циклонов до очистки представлены в табл. 6.

Таблица 6

Данные расчетов работы циклонов до очистки

№ циклона	Динамическое давление P_d , Па	Плотность воздушного потока ρ_v , кг/м ³	Скорость газа v , м/с	Площадь сечения S , м ²	Объемный расход газа V , м ³ /с	Расход отбираемого газа по электроаспиратору V_p , л/мин	Концентрация Z , г/м ³	W, г/с
Циклон Ц-950	23,3	1,28	18,9	0,1590	3,0	8	0,1778	0,53
Циклон Ц-1500 № 476	6,37	1,29	9,84	0,25	2,46	11,18	0,1931	0,48
Циклон Ц-1500 №47, отсос 1	6,0	1,29	9,55	0,25	2,39	10	0,0034	0,008

Данные расчетов по работе циклонов после очистки представлены в табл. 7

Таблица 7

Данные расчетов работы циклонов после очистки

№ циклона	Динамическое давление P_d , Па	Плотность воздушного потока $\rho_{в}$, кг/м ³	Скорость v , м/с	Площадь сечения S , м ²	Объемный расход газа V , м ³ /с	Расход отбираемого газа по электроасpirатору V_a , л/мин	Концентрация, г/м ³	W, г/с	Эффективность, %
Циклон Ц-950	14,4	1,26	15	0,1809	2,7	6,1	0,0798	0,21	60
Циклон Ц-1500 № 476	1,25	1,29	4,4	0,6079	2,67	5	0,0758	0,20	58
Циклон Ц-1500 № 47, отсос 1	6,0	1,29	9,55	0,6079	2,67	5,5	0,0014	0,0037	54

Из таблиц 3 и 4 следует сделать вывод, что эффективность работы Циклона Ц-950 составляет 60%, циклона ЦН-1500 № 476 составляет 58% и циклона ИН-1500 №47, отсос 1 составляет 54%. Эффективность работы невысокая, но в соответствии с паспортами данных установок находится в пределах нормы.

В настоящее время очень много предприятий, на которых используются пылеулавливающие установки. Эти установки не дают попасть в атмосферный воздух пыли различного происхождения (древесной, металлической и т.д.), а также защищают рабочие места от запыленности. На АО «Восточная верфь» был проведен анализ пылегазоулавливающих установок цеха № 2, улавливающих древесную пыль. Была рассчитана эффективность работы циклонов данных установок. Полученные замеры свидетельствуют, что простота конструкции циклона позволяет в течение долгих лет поддерживать заявленную производителем эффективность работы. Эффективность улавливания пылевых частиц колеблется в пределах нормы работы установок, но так как возраст данных установок более 20 лет, стоит рассматривать вариант их замены на более новые и усовершенствованные установки с более высокой эффективностью улавливания пылевых частиц.

1. Об охране окружающей среды: федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/
2. ГОСТ 33007-2014 Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков. Общие технические требования и методы контроля. Введ. 01.12.2015 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121305>

3. ГОСТ 17.2.4.06-90 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. Введ. 01.01.1991 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007367>
4. ГОСТ 17.2.4.07-90 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. Введ. 01.07.1991 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007365>
5. Об утверждении Правил эксплуатации установок очистки газа: приказ от 15 сентября 2017 года № 498 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/542608718>

Транслитерация

1. Ob ohrane okruzhayushchej sredy: federal'nyj zakon ot 10.01.2002 № 7-FZ (poslednyaya redakciya) [Elektronnyj resurs] // SPS «Konsul'tantPlyus». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/
2. GOST 33007-2014 Oborudovanie gazoочистное i pylеulavlivayushchee. Metody opredeleniya zapylennosti gazovyh potokov. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody kontrolya. Vved. 01.12.2015 // [Elektronnyj resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121305>
3. GOST 17.2.4.06-90 Ohrana prirody (SSOP). Atmosfera. Metody opredeleniya skorosti i raskhoda gazopylevyh potokov, othodyashchih ot stacionarnyh istochnikov zagryazneniya. Vved. 01.01.1991 // [Elektronnyj resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007367>
4. GOST 17.2.4.07-90 Ohrana prirody (SSOP). Atmosfera. Metody opredeleniya davleniya i temperatury gazopylevyh potokov, othodyashchih ot stacionarnyh istochnikov zagryazneniya. Vved. 01.07.1991 // [Elektronnyj resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007365>
5. Ob utverzhdenii Pravil ekspluatatsii ustanovok ochistki gaza: prikaz ot 15 sentyabrya 2017 goda № 498 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/542608718>

© К.И. Илюшина, 2019

© В.Н. Макарова, 2019

Для цитирования: Илюшина К.И., Макарова В.Н. Оценка эффективности работы пылегазоулавливающих установок цеха номер два на предприятии АО «Восточная верфь» // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2019. Т. 11, № 2. С. 120–129.

For citation: Ilyushina K.I., Makarova V.N. Assessment of efficiency dust and gas collector installations of floor number two at the enterprise JSC «Vostochnaya verf», *The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service*, 2019, Vol. 11, № 2, pp. 120–129.

DOI dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2019-2/120-129

Дата поступления: 10.06.2019.