

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-2-38-44

УДК 66.067.57

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗОЛОУЛОВИТЕЛЕЙ НА КЕМЕРОВСКОЙ ГРЭС

## MODERNIZATION OF ASH COLLECTORS AT KEMEROVSKAYA GRES

Изотов Николай Николаевич,  
ассистент, e-mail: innpmahp@yandex.ru

Nikolay N. Izotov, assistant

Евграфова Анна Борисовна,  
старший преподаватель, e-mail: eab.ephnt@kuzstu.ru

Anna B. Yevgrafova, Senior Lecturer

Тиунова Наталья Владимировна,  
старший преподаватель, e-mail: tnv.pmahp@kuzstu.ru

Natalya V. Tiunova, Senior Lecturer

Андриюшков Алексей Анатольевич,  
к.т.н., доцент, e-mail: aaa.epht@kuzstu.ru

Alexey A. Andryushkov, C. Sc. (Engineering), Associate professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

### Аннотация:

Экологическая обстановка г. Кемерово оставляет желать лучшего. Причиной сильного нарушения экологии выступает действие крупнейших предприятий и заводов химической промышленности. Увеличение выбросов происходит за счет повышения общего расхода топлива на предприятиях теплоэнергетики г. Кемерово. Превышение установленных нормативов выбросов в большей части связано с работой трех электростанций города, поэтому внедрение аэроакустической системы при различных скоростях движения дымовых газов и плотностях орошения скруббера на Кемеровской ГРЭС является актуальной, в том числе и на сегодняшний день.

Модернизация золоуловителей типа МВ с установленной аэроакустической системой стала одним из лучших решений по организации защиты окружающей среды от вредных воздействий Кемеровской ГРЭС.

Эффективность новой схемы аэродинамической системы была доказана при проведении испытаний модернизированного золоуловителя.

С целью улучшения коагуляции мелкодисперсной пылевоздушной фракции в горловинах труб Вентури закреплены аэроакустические интенсификаторы, служащие турболизаторами пылевоздушного потока.

Многолетний опыт эксплуатации скрубберов Вентури, оснащенных аэроакустической системой, подтверждает их надежность, простоту эксплуатации и высокую эффективность. Степень очистки дымовых газов от твердых компонентов повысилась с 96% до 98,1%.

**Ключевые слова:** золоуловитель, труба Вентури, каплеуловитель, очистка дымовых газов, аэроакустическая система.

### Abstract:

The ecological situation in Kemerovo leaves much to be desired. The cause of a strong violation of the environment is the action of the largest enterprises and plants of the chemical industry. The increase in emissions occurs due to an increase in the total fuel consumption at the enterprises of the power system of Kemerovo. Exceeding the established emission standards is largely due to the work of the three power plants of the city. Therefore, the introduction of an aeroacoustic system at various flue gas velocities and scrubber irrigation densities at the Kemerovo State District Power Plant (GRES) is relevant, including today. One of the promising measures to protect the environment from the harmful effects of the Kemerovo State District Power Plant was the modernization of MB-type dust collectors with the installation of an aero-acoustic system.

Testing of modernized ash collectors to assess the effectiveness of the applied intensification scheme showed the effectiveness of the aerodynamic system. For the turbulization of the dust-gas flow with sprayed irrigating water, aeroacoustic intensifiers were installed in the throat of the Venturi tubes, which improve the coagulation of the fine fraction of the dust-gas flow. The long-term operating experience of Venturi scrubbers equipped with an aeroacoustic system confirms their reliability, ease of operation and high efficiency. The degree of purification of flue gases from the solid components increased from 96% to 98.1%.

**Key words:** the dust collector, Venturi tube, drip tray, flue gas treatment, aeroacoustic system.

Влияние человека на окружающую среду негативно сказывается на естественных процессах, проходящих в биосфере нашей планеты, так происходит накопление и увеличение различных вредных веществ.

Меры, предпринимаемые по обеспечению охраны окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов, состоят из целой системы определенных мероприятий, которые включают в себя: экономические, производственно

– технические и административно – правовые.

Сильное влияние на загрязнение атмосферы оказывает работа котельных и ТЭС, выбросы которых обычно состоят из мелкодисперсной твердой фракции (сажи и золы) и токсичных веществ, находящихся в газообразном виде, таких как оксиды азота, углерода, серы, фтористые соединения и канцерогенные углеводороды.

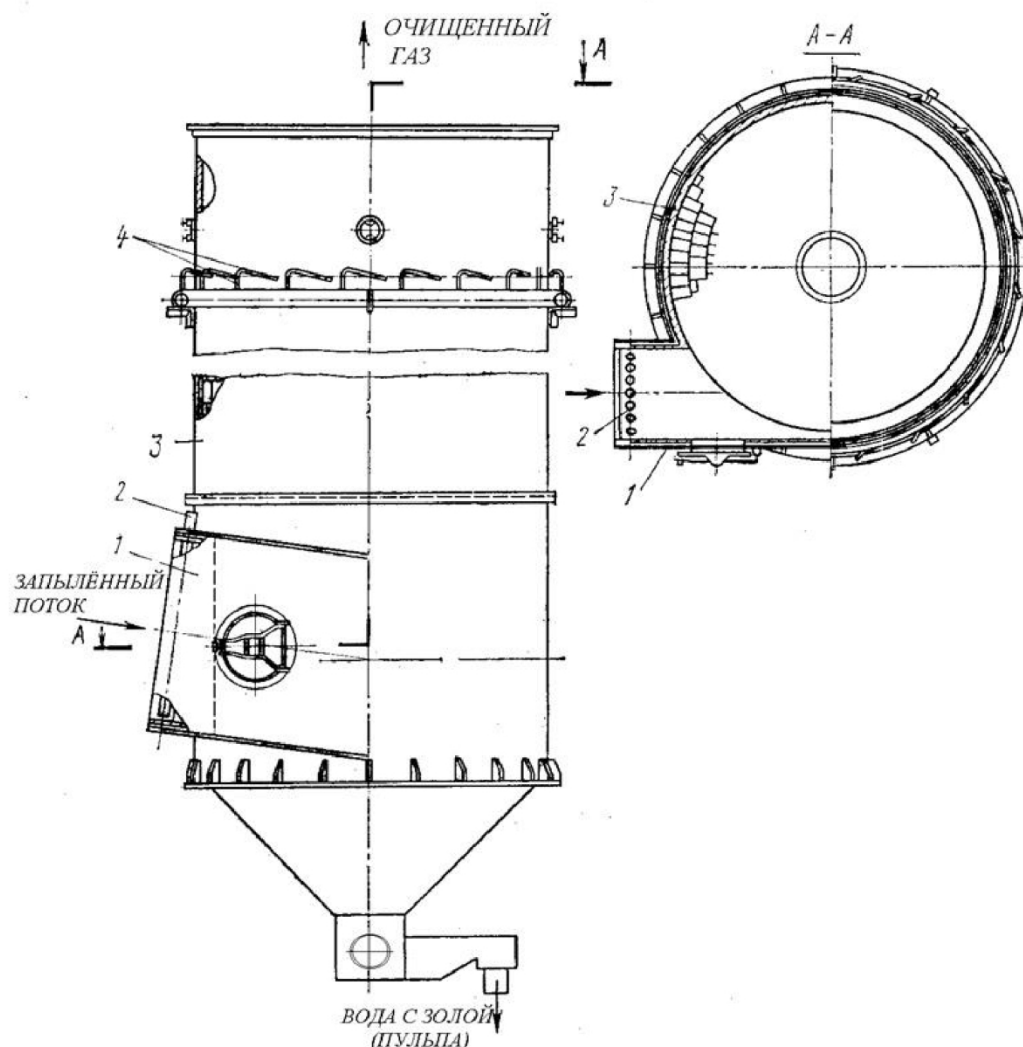


Рис. 1. Скруббер (мокрый золоуловитель)

1 – входной патрубок; 2 – смачивающее устройство; 3 – корпус; 4 – орошающие сопла

Fig. 1. Scrubber (wet ash collector)

1 - inlet; 2 - wetting device; 3 - housing; 4 - irrigation nozzles

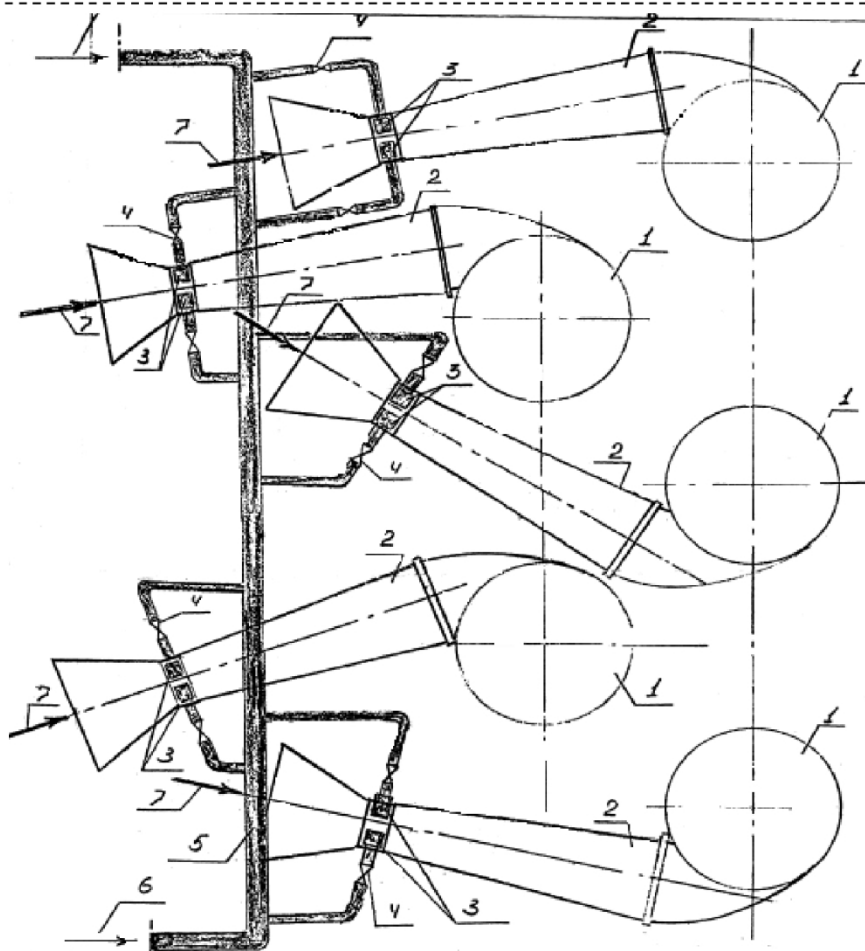


Рис. 2. Схема аэроакустической системы интенсификации золоулавливания  
1 – скруббер; 2 – труба Вентури; 3 – акустический генератор; 4 – шибер; 5 – коллектор горячего воздуха; 6 – горячий воздух (от воздухонагревателя котла); 7 – отходящие газы (от котла)

Fig. 2. Scheme of aeroacoustic system of ash collection intensification  
1 - scrubber; 2 - venturi tube; 3 - acoustic generator; 4 - gate; 5 - hot air collector; 6 - hot air (from the boiler air heater); 7 - waste gases (from the boiler)

В зависимости от организации процессов сгорания и от вида топлива количество выбрасываемых вредных веществ в окружающую среду меняется [1, 2].

На многих тепловых электрических станциях, работающих на твердом топливе, для очистки дымовых газов от золы установлены мокрые скрубберы с трубой Вентури. Золоуловители этого типа обеспечивают эффективность очистки от твердых компонентов на уровне 95-96%. Однако возросшие требования к охране окружающей среды делают актуальной очистку дымовых газов от золы в пределах 98-99%. Для достижения такой степени очистки газов требуется реконструкция существующих золоулавливающих установок (ЗУУ) [3, 4].

На Кемеровской ГРЭС на котлах типа ТКЗ-120/2 применены золоуловители мокрого типа МВ (рис.1). Данные золоуловители типа МВ состоят из нескольких элементов, которые последовательно включены по движению газа: двух труб Вентури и двух каплеуловителей.

Труба Вентури изготовлена из листовой стали толщиной до 8 мм и покрыта антикоррозионной защитой. Внутри трубы установлена центробежная механическая форсунка для распыления воды.

Принцип работы золоуловителя типа МВ осуществляется за счет коагуляции золовой фракции посредством гравитационного осаждения частиц на каплях воды, орошающей трубу Вентури. Далее происходит сепарация укрупненной фракции, а также последующее уловление неаглолируемых частиц золы в каплеуловителе. Суспензия, состоящая из уловленной золы с водой, течет вниз по стенкам в коническое днище каплеуловителя, затем сбрасывается через гидрозатвор в канал гидрозолоудаления (ГЗУ) [5,6].

На этих золоуловителях была проведена модернизация с установкой аэроакустической системы интенсификации золоулавливания (рис.2).

Основная цель проделанной работы – оценка эффективности применяемой системы интенсификации процесса очистки газов путем проведения

Таблица 1. Характеристики угля Кузнецкого месторождения

Table 1. Characteristics of coal from the Kuznetsk deposit

Теплотворная способность	5524-5808	Ккал/кг
Зольность	14,93-17,51	%
Влажность	12,76-13,71	%
Содержание горючих в угле	10,06-21,89	%

Таблица 2. Основные показатели

Table 2. Main indicators

Наименование параметра	Ед. измерения	Котлоагрегат ст. №5	
		Без акустического турболизатора	С акустическим турболизатором
Производительность котлоагрегата	Т/ч	112-1335	109-138
Объем газов до ЗУ	10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup> /ч	195-260	207-262
Температура газов до ЗУ	°С	162-169	160-174
Температура газов после ЗУ	°С	60-65	59-62
Удельное орошение в трубах Вентури	Кг/м <sup>3</sup>	0,11-0,15	0,11-0,14
Удельное орошение в каплеуловителе	Кг/м	0,04	0,04-0,05
Аэродинамическое сопротивление ЗУ	Па	1300-1570	1300-1600
Присосы воздуха в ЗУ	%	5+10	7-17
Распыленность газов до ЗУ	Г/м <sup>3</sup>	11,3-13,9	11,6-12,4
Распыленность газов после ЗУ	Г/м <sup>3</sup>	0,4-0,57	0,23-0,3
Эффективность очистки газов	%	96,6	98,1

испытаний.

Мелкодисперсные дымовые газы из котельной установки подаются в трубы Вентури, которые состоят из входных конусов, горловин и диффузоров. Благодаря кольцевым усредняющим камерам, в горловине и во входном конусе происходит выравнивание давления на периферии труб Вентури. В нижней части конуса установлено приспособление для спуска жидкой фазы.

В верхней части конуса расположены орошающие центробежные струйные форсунки, предназначенные для смачивания внутренней поверхности конуса каплями жидкости с диаметром 140-210 мкм. Пылевоздушный поток, соприкасаясь со смоченной внутренней поверхностью горловины конуса, коагулирует и образует более крупные частицы, которые в дальнейшем смываются с этой поверхности орошающей водой. После чего данная суспензия выводится через гидрозатвор в канал ГЗУ [7, 8].

Величина скорости дымовых газов в горловине составляет 45-70 м/с. В данных аппаратах необходимо создавать наибольший градиент скорости газа и орошающей жидкости, тем самым достигается высокая эффективность коагуляции дымовых газов. Благодаря противоточному движению пылевоздушного потока и жидкости происходит

эффективное очищение дымовых газов. Пылевоздушный поток внутри трубы Вентури движется на 20-25 м/с больше, чем жидкость. С целью улучшения коагуляции и увеличения скорости получившейся суспензии применены аэроакустические интенсификаторы. Благодаря тангенциальному вводу загрязненного потока в каплеуловитель происходит сепарация скоагулированной и крупной фракции золовой пыли за счет инерционного осаждения.

Таким образом, эффективность работы мокрых золоуловителей с предвключенной трубой Вентури зависит от удельного расхода орошающей жидкости и скорости газов в горловине. Это единственный вид золоуловителей, в котором эффективность очистки не зависит от размера частиц.

Параметр золоулавливания для мокрых золоуловителей с коагулятором в форме трубы Вентури определяется по формуле:

$$\Pi = \sqrt{q_{ж} u_{г}}, \quad (1)$$

где  $q_{ж}$  – удельный расход орошающей жидкости, кг/м<sup>3</sup>,  $u_{г}$  – скорость газов.

Обычно  $q_{ж}$  принимается в пределах 0,12÷0,20 кг/м<sup>3</sup>, а  $u_{г}$  – 50÷70 м/с.

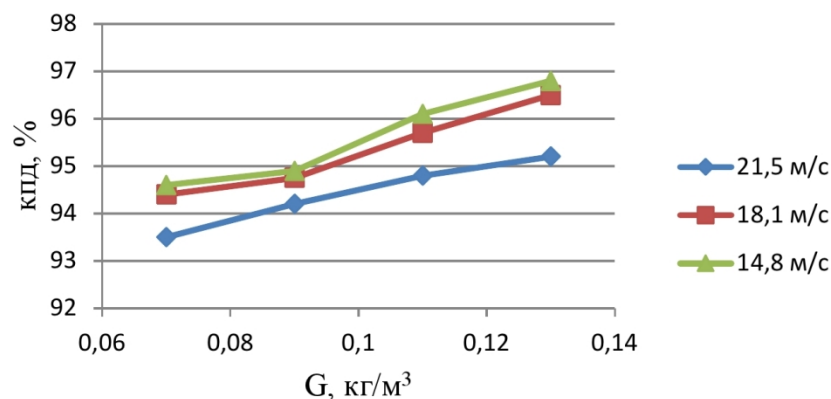


Рис.3. Экспериментальные исследования коэффициента полезного действия золоулавливающего устройства с трубами Вентури

$G$  – плотность орошения скруббера,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\eta$  – степень очистки (КПД ЗУУ), %;  $v$  – скорость дымовых газов в трубе Вентури

Fig.3. Experimental studies of the efficiency of the ash collecting device with venturi pipes

$G$  - scrubber irrigation density,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\eta$  - is the degree of purification (efficiency of the ACD), %;  $v$  - the velocity of the flue gases in the venturi tube

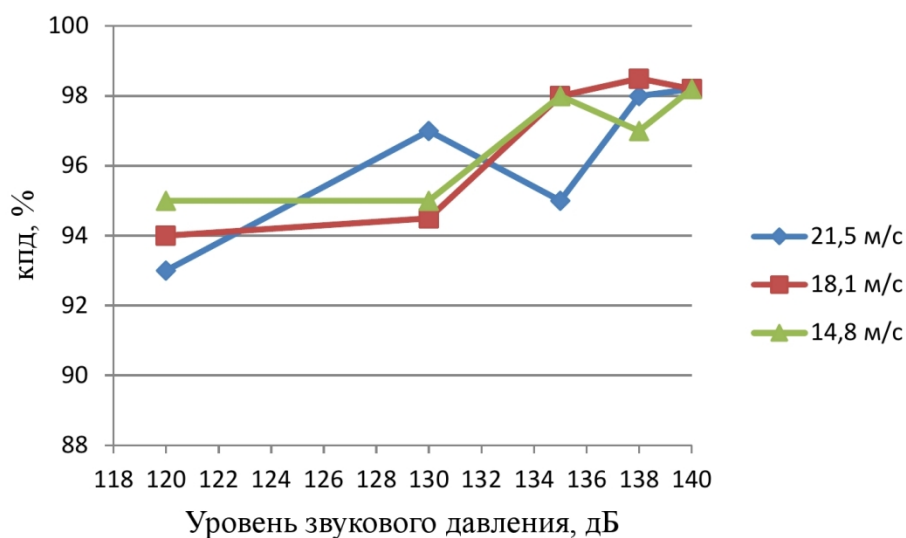


Рис.4. Зависимость КПД ЗУУ от параметров работы аэроакустической системы

Fig.4. The dependence of the efficiency of the ACD on the parameters of the aeroacoustic system

Из формулы (1) следует, при увеличении расхода орошающей жидкости сверх рекомендованных параметров эффективность очистки также увеличивается, при этом увеличивается гидравлическое сопротивление золоуловителя. Помимо прочего, необходимо соблюдать определенные температурные режимы работы. При рекомендованных значениях  $q_{ж}$  и  $u_c$  гидравлическое сопротивление аппарата обычно лежит в пределах 800...1100 Па [9,10].

Во время испытаний в топке котлоагрегата сжигался уголь Кузнецкого месторождения со следующими характеристиками (Таблица 1).

Испытания проведены в соответствии с методикой испытания золоуловителей, принятой в ОР-ГРЭС (Л1). В таблице 2 приведены для сравнения

средние величины основных показателей с применением акустического турбулизатора и без него.

Для всех режимов работы золоулавливающих установок подтверждается достижимость степени очистки дымовых газов от твердых компонентов более 98% с сокращением общего расхода воды на форсунки труб Вентури [11,12].

На рис.3 показаны результаты экспериментальных исследований коэффициента полезного действия золоулавливающего устройства с трубами Вентури без применения аэроакустической системы при различных скоростях движения дымовых газов и плотностях орошения скруббера. Анализ данных показывает, что для большинства режимов работы степень очистки составляет 95-96%.

На рис.4 для этих же режимов работы

котлоагрегата проиллюстрирована зависимость КПД ЗУУ от параметров работы аэроакустической системы. Из графика видно, что эта зависимость имеет полиэкстремальный характер, причем в рабочем режиме резонансных пучков (уровень звукового давления 136-140дБ) эффективность золоулавливания превышает 98%.

В процессе промышленного испытания данной золоуловительной установки без применения аэроакустической системы на работающем котле получили следующие показатели КПД золоуловителя 96,7% при номинальных параметрах в 96%. После внедрения аэроакустической системы были

проведены повторные испытания на всех нагрузках котла, которые показали, что эффективность данной системы улавливания золы повысилась на 1,5%, удалось достигнуть КПД в среднем 98,1%. В свою очередь увеличилось аэродинамическое сопротивление золоулавливающей установки на 40 Па, а температура уходящих газов понизилась на 4°C.

Таким образом, можно утверждать, что многолетний опыт эксплуатации скрубберов Вентури, оснащенных аэроакустической системой, подтверждает их надежность, простоту эксплуатации и высокую эффективность[13-16].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальдберг, А.Ю. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы / уч. пособ. для студентов вузов/ А.Ю. Вальдберг, Н.Е. Николайкина. – М.: Дрофа, 2008г. – 239 с.
2. Скрыбина, Л.Я. Промышленная и санитарная очистка газов. Атлас промышленных пылей. Ч.1. Летучая зола тепловых электростанций / Центральный институт научно-технической информации и технико-экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению. – М.: 1980. – 47 с.
3. Теплоэнергетика и теплотехника. Кн. 3: Тепловые и атомные электростанции/ справочник / под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: МЭИ, 2007г. – 648 с.
4. Ужов, В.Н. Очистка промышленных газов от пыли / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Рашидов. – М.: Химия, 1981. – 392 с.
5. Назмеев, Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС: уч. пособ. для студентов вузов / Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. М.: Энергоатомиздат, 1998. – 288 с.
6. Кропп, Л.И. Золоуловители с трубами Вентури на тепловых электростанциях / Л.И. Кропп, А.И. Акбрут. – М.: Энергия – 1977. – 160 с.
7. Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов системой водоснабжения Кемеровской ГРЭС <https://vunivere.ru/work17501>
8. Липов, Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: учебник для студентов вузов / Ю. М. Липов, Ю.М. Третьяков. – М., 2005. – 592 с.
9. Справочник по пыле- и золоулавливанию/ М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; под ред. А.А.Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
10. Механика жидкости и газа: уч. пособ. для студентов и аспирантов металлургических, энергетических, химико-технологических факультетов и вузов / под ред. В.С. Швыдкого. – М.: Академкнига, 2003. – 464 с.
11. Методика определения степени очистки дымовых газов в золоуловителях: (Экспресс-метод) / Инж. Р.П. Лозинский, к.т.н Л.П. Яновский; М-во энергетики и электрификации СССР, Гл. техн. упр. по эксплуатации энергосистем. – М: СПО ОРГРЭС, 1976. – 10 с.
12. Интенсификация золоулавливания с помощью аэроакустической системы/ Н.Н. Изотов, А.Б. Евграфова, Ю.А. Астапенко// сб.тр. IV Всероссийской конференции «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» с международным участием/ Кемерово, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева, 27-28 ноября, 2018. – стр. 607.1. - 607.3.
13. Пути интенсификации процесса золоулавливания выбросов дымовых газов теплоэнергетических установок / Л.Н. Кормина, А.А. Полянская // Ползуновский Вестник, 2014. – № 3. – стр. 201-202.
14. Effect of venturi tube structure parameters on degradating rhodamine b dye wastewater with hydrodynamic cavitation technique / Yang S.-J., Jin R.-Y., Qiao Y.-N., Shi S.-T. // Zhongbei daxue xuebao (ziran kexue ban), 2017. – №1. – p. 72-77.
15. Modeling operating regimes in multiphase flowmeter flow path using CFD methods / Kartashev A.L., Kartasheva M.A., Terekhin A.A. // Procedia engineering – International conference on industrial engineering, Saint-petersburg, 16-19 may.2017, – p. 128-133.
16. Перспективы использования золы уноса тепловых электростанций Кузбасса / Темникова Е.Ю., Лапин А.А., Богомоллов А.Р., Тиунова Н.В. // сб.тр. IV Всероссийской конференции «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» с международным участием/ Кемерово, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева, 27-28 ноября, 2018. – стр. 620.1-620.5



## REFERENCES

1. Waldberg, A.Yu. Processes and devices for environmental protection. Protection of the atmosphere / uch. benefit for university students / A. Yu. Waldberg, N. E. Nikolaykina. – M.: Drofa, 2008. – 239 p.
2. Scriabin, L.Ya. Industrial and sanitary gas cleaning. Atlas of industrial dusts. Part 1 Fly ash of thermal power plants / Central Institute of Scientific and Technical Information and Technical and Economic Research on Chemical and Petroleum Engineering. – M.: 1980. – 47 p.
3. Thermal engineering and heat engineering. Prince 3: Thermal and nuclear power plants / directory / under total. ed. A. V. Klimenko, V. M. Zorin. – M.: MEI, 2007. – 648 p.
4. Uzhov, V.N. Purification of industrial gases from dust / V.N. Uzhov, A.Yu. Waldberg, B.I. Myagkov, I.K. Rashidov. – M.: Chemistry, 1981. – 392 p.
5. Nazmeev, Yu.G. Heat exchangers TPP: account. benefit for university students / Yu.G. Nazmeev, V.M. Lavygin. – M.: Energoatomizdat, 1998. – 288 p.
6. Kropp, L.I. Ash collectors with venturi pipes in thermal power plants / L.I. Kropp, A.I. Akbrut. – M.: Energy – 1977. – 160 p.
7. Nature protection and rational use of natural resources by the water supply system of the Kemerovo State District Power Plant <https://vunivere.ru/work17501>
8. Lipov, Yu.M. Boiler plants and steam generators: a textbook for university students / Yu. M. Lipov, Yu. M. Tretyakov. – M., 2005. – 592 p.
9. Handbook of dust and ash collection / MI Birger, A.Yu. Waldberg, B.I. Myagkov et al.; by ed. A.A.Rusanova. - 2nd ed., Pererab. and add. – M.: Energoatomizdat, 1983. – 312 p.
10. Fluid and gas mechanics: account. benefit for students and graduate students of metallurgical, energy, chemical and technological faculties and universities / ed. V.S. Shvydkogo. – M.: Akademkniga, 2003. – 464 p.
11. Method of determining the degree of purification of flue gases in ash collectors: (Express method) / Ing. R. P. Lozinsky, Ph.D., L. P. Yanovsky; M of energy and electrification of the USSR, Ch. tech. ex. on the operation of power systems. – M: SPO ORGRES, 1976. – 10 p.
12. Intensification of ash collection using aeroacoustic system / N.N. Izotov, A.B. Evgrafova, Yu.A. Astapenko / sb.tr. IV All-Russian Conference "Chemistry and Chemical Technology: Achievements and Prospects" with international participation / Kemerovo, Kuzbass Technical University named after T.F. Gorbachev, November 27-28, 2018. – p. 607.1-607.3.
13. Ways to intensify the process of ash collection of emissions of flue gases of heat and power plants / L.N. Kormina, A.A. Polyanskaya / Polzunovsky Herald 2014, №3 p. 201-202.
14. Effect of venturi tube structure parameters on degradating rhodamine b dye wastewater with hydrodynamic cavitation technique / Yang S.-J., Jin R.-Y., Qiao Y.-N., Shi S.-T. // Zhongbei daxue xuebao (ziran kexue ban) – 2017, №1, p. 72-77.
15. Modeling operating regimes in multiphase flowmeter flow path using CFD methods / Kartashev A.L., Kartasheva M.A., Terekhin A.A. // Procedia engineering – International conference on industrial engineering, Saint-Petersburg, 16-19 may 2017, p. 128-133.
16. Prospects for the use of fly ash from thermal power plants of Kuzbass / Temnikova E.Yu., Lapin A.A., Bogomolov A.R., Tiunova N.V. // Chemistry and Chemical Technology: Achievements and Prospects. – 2018, - p. 620.1-620.5.

Поступило в редакцию 11.03.2019

Received 11 March 2019