

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-1-103-111


УДК 622.85

Научная статья / Research article

Разработка природоохранных мероприятий по уменьшению пылеобразных выбросов каменного угля при погрузочно-разгрузочных работах

А.В. Луканин , Е.С. Клеванова  

*Российский университет дружбы народов,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6*

 eklevanova@mail.ru

Аннотация. В настоящее время Россия занимает одно из ведущих мест в мире по добыче каменного угля. При добыче, дроблении, сортировке и транспортировке угля частицы неизбежно переходят в аэрозольное состояние, образуя пыль, которая в дальнейшем выбрасывается в атмосферный воздух. Данная пыль пагубно влияет на здоровье работников горнодобывающей отрасли, а также на население селитебной зоны. В связи с этим возникает вопрос об эффективной очистке воздуха в рабочей зоне от угольной пыли и снижении ее концентрации. Цель исследования – разработать систему комплексной очистки газозвушных выбросов от пыли каменного угля в рабочей зоне, где происходит его транспортирование. Основная задача – создание дополнительной степени очистки воздуха от угольной пыли. С этой целью использовался вихревой абсорбер, представляющий собой аппарат цилиндрической формы, в котором расположен контактный элемент с просечными отверстиями. Определены геометрические размеры абсорбера и его основные параметры. Разработанный абсорбер показал очень хорошие результаты как аппарат для финишной очистки газозвушных выбросов. Эффективность улавливания мелких твердых частиц в представленной схеме достигает 99 %. Вместе с тем в результате внедрение данной установки осуществляется эффективная очистка воздуха от частиц пыли диаметром порядка 0,2 мкм, а также увеличивается производство угольных брикетов на 144 т в год.

Ключевые слова: газозвушные выбросы, пыль каменного угля, очистка воздуха рабочей зоны, газоочистное оборудование, вихревой абсорбер, брикетирование пыли

История статьи: поступила в редакцию 19.11.2020; принята к публикации 30.12.2020.

Для цитирования: Луканин А.В., Клеванова Е.С. Разработка природоохранных мероприятий по уменьшению пылеобразных выбросов каменного угля при погрузочно-разгрузочных работах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29. № 1. С. 103–111. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-103-111>

© Луканин А.В., Клеванова Е.С., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Development of environmental measures to reduce the dusty emissions of stone coal in loading and unloading works

Alexander V. Lukanin , Elena S. Klevanova  

*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

 eklevanova@mail.ru

Abstract. Now Russia is one of the world's leading coal producers. Particles inevitably pass into an aerosol state, forming dust, which is subsequently emitted into the atmosphere during the extraction, crushing, sorting and transportation of coal. This dust negatively affects the health of workers in the mining industry, as well as the population of the residential area. In this regard, the question arises about the effective air cleaning in the working area from coal dust and reducing its concentration. The work purpose is to develop a comprehensive cleaning of gas-air emissions from coal dust in the working area where it is transported. The main task is to create an additional degree of air purification from coal dust. For this purpose, a vortex absorber was used, which is a cylindrical apparatus in which a contact element with perforated holes is located. The geometric dimensions of the absorber and its main parameters have been determined. The absorber developed by the authors has shown very good results as a device for the final purification of gas-air emissions. The efficiency of trapping small solid particles in the presented scheme reaches 99%. At the same time, as a result of the introduction of this installation, effective air purification from dust particles with a diameter of about 0.2 microns is carried out and the coal briquettes production is increased by 144 tons per year.

Keywords: gas-air emissions, coal dust, air purification of the working area, gas purification equipment, vortex absorber, dust briquetting

Article history: received 19.11.2020; revised 30.12.2020.

For citation: Lukanin AV, Klevanova ES. Development of environmental measures to reduce the dusty emissions of stone coal in loading and unloading works. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(1):103–111. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-103-111>

Введение

В настоящее время транспортирование каменного угля осуществляется посредством железнодорожного и морского транспорта. В частности, экспорт в страны Азии, например Японию, производится преимущественно морскими судами. Один из крупных морских портов, через который экспортируется уголь в другие страны, – Ванино – расположен в Хабаровском крае. Объемы проходящего через него ежегодного экспорта каменного угля достигают 24 млн т, и эта тенденция растет с каждым годом. К концу 2020 г. планируется увеличить перевозку угля до 30 млн т в год [1].

Современный порт сегодня – это крупный и очень сложный технический комплекс, при этом угольный терминал включает в себя парк приема поездов с углем, где поезда отсортировываются по виду угля, и цех вагоноопрокидывателей, где уголь из вагона погружается на ленточный конвейер, затем отправляется на открытый склад и перевозится на морские суда.

Результаты и обсуждение

Одним из самых опасных мест для работников морского порта является цех вагоноопрокидывателей, расположенный в закрытом помещении площадью около 5 тыс. м². В нем установлены два вагоноопрокидывателя, которые в среднем за сутки переворачивают 810 вагонов. Для снижения концентрации пыли при переворачивании вагонов в порту установлены дисперсионные системы DUSTEX, которые работают с бинарными форсунками при низком давлении со средами: вода и сжатый воздух [1]. При выгрузке угля из полувагонов в приемные бункеры данная система срабатывает автоматически и генерирует при помощи двухкомпонентных распыляющих форсунок мелкодисперсный туман высокой плотности. Водопотребление дисперсионной системы составляет 120 м³/сут, эффективность очистки – 80 % [1]. В осевшую водоугольную суспензию добавляют пшеничную муку для придания необходимых качественных характеристик продукту и отправляют в аппарат брикетирования, где спрессовывают, и на выходе получается готовый продукт из прессованной угольной пыли, который по составу ничем не уступает обычному каменному углю.

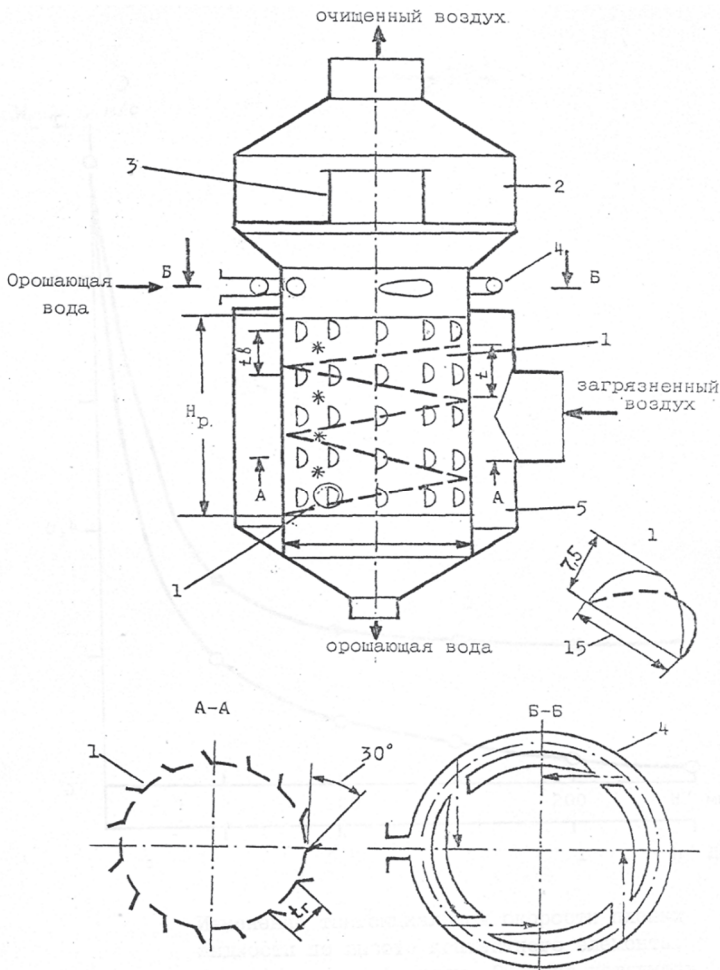


Рис. 1. Вихревой абсорбер [2]:

1 – контактный элемент; 2 – сепаратор; 3 – каплеотделитель; 4 – коллектор ввода орошающей жидкости; 5 – газовая рубашка

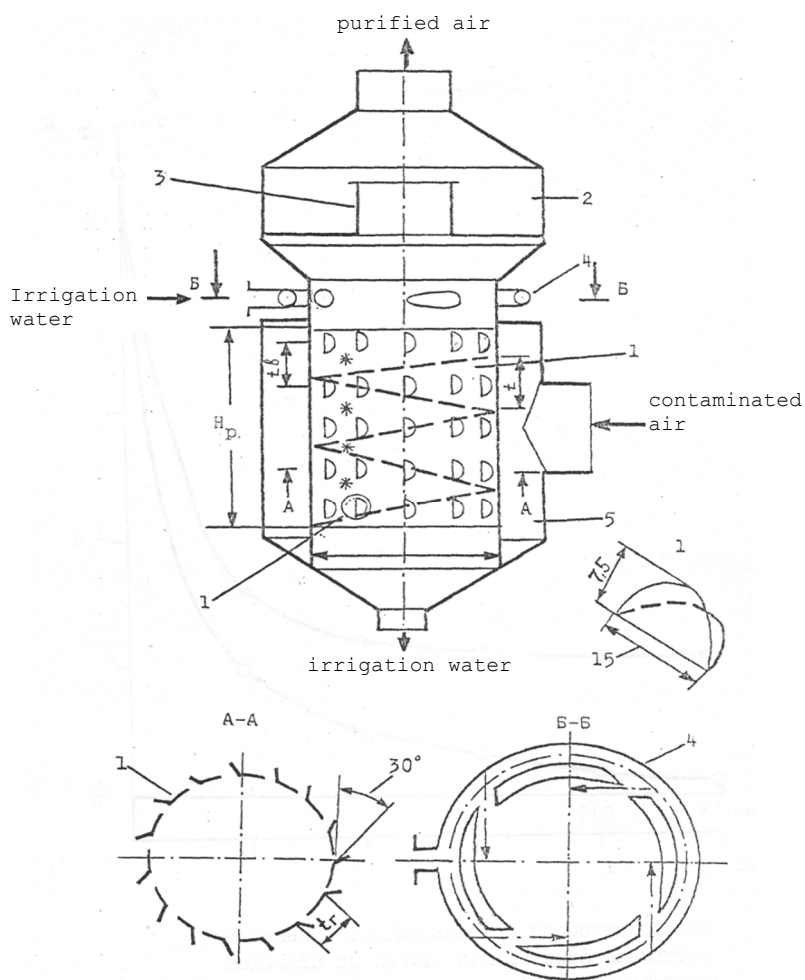


Figure 1. Vortex absorber [2]:

1 – contact element; 2 – separator; 3 – drop separator; 4 – scrubbing liquid inlet collector; 5 – gas jacket

Для более эффективной очистки воздуха от угольной пыли нами была разработана схема очистки, дополнительно включающая еще одну ступень – вихревой абсорбер. Разработанный нами абсорбер показал очень хорошие результаты как аппарат для финишной очистки газоздушных выбросов¹ [2; 3].

Абсорбер (рис. 1) представляет собой аппарат цилиндрической формы, в котором расположен контактный элемент с просечными отверстиями. Лепестки просечек отогнуты во внешнюю сторону боковой поверхности на 30°. Принцип действия аппарата следующий. Орошающая вода поступает через коллектор 4, где обеспечивается равномерное распределение жидкости по периметру контактного элемента 1 и первоначальная ее закрутка. Тем временем загрязненный воздух поступает через газовую рубашку 5, затем проходит через просечные отверстия контактного элемента, приобретая тангенциальное направление, и далее барботирует через слой жидкости, допол-

¹ Отчет об устойчивом развитии СУЭК за 2016–2017 гг. URL: http://www.suek.ru/upload/iblock/9c9/SUEK_SDR_16_17_WWW_.pdf (дата обращения 10.02.2020).

нительно ее подкручивая. Пройдя через центробежный каплеотделитель 3, очищенные газоздушные выбросы выходят в рабочее помещение² [2; 3]. Одно из главных преимуществ данного аппарата – при достаточно высокой эффективности он имеет низкое гидравлическое сопротивление (700–1150 Па), от которого в значительной мере зависит расход энергии. Для сравнения: при прочих равных условиях средненапорный скруббер Вентури имеет гидравлическое сопротивление 1500–4500 Па.

При расчете технических характеристик аппарата использовались следующие данные: объем здания вагоноопрокидывателя 45 тыс. м³, требуемое количество газа при 8-кратной циркуляции 360 тыс. м³/ч, температура орошающей воды 20 °С, допустимый провал жидкости должен быть не более 10 % от общего расхода жидкости, свободное сечение контактного элемента 3 %, скорость газа в просечках контактного элемента 4 м/с, плотность орошения 15 м³/м²·час [3].

Расчет вихревого абсорбера

Определены геометрические размеры абсорбера и его основные параметры. Методика расчета параметров вихревого абсорбера представлена в кандидатской диссертации А.В. Луканина «Разработка массообменных аппаратов для систем производства микроводорослей, их гидравлические и массообменные характеристики» 1984 г. [2].

По результатам расчета определено, что диаметр абсорбера составляет 5 м, высота – 8 м, объем газа, проходящий через аппарат, 360 тыс. м³/ч, рабочая поверхность контактного элемента 126 м², расход орошающей жидкости 188 м³/ч, полное гидравлическое сопротивление аппарата 740 Па.

Провал жидкости через контактный элемент вихревого абсорбера определяли по формуле [2]

$$l' = 1,6W^{-1,5}(0,1 + \operatorname{tg}\alpha)^{0,47}\left(\frac{\mu}{\mu_0}\right)^{-1,5}\left(0,1 + \frac{1}{\omega}\right),$$

где W – скорость газа в просечках контактного элемента, м/с; μ , μ_0 – динамическая вязкость жидкости, н·с/м²; ω – наличие вставок (если нет вставок, то берется значение 0); α – угол разворота просечек контактного элемента относительно его оси, град.

По результатам расчета провал жидкости составил 1,7 м³/ч, или 0,91 % от общего расхода жидкости.

Толщина пленки жидкости находится по уравнению [2]

$$h = 3,56H^{-0,15}q^{0,35}\left(0,1 + \frac{1}{\omega}\right)^{0,18},$$

где H – высота аппарата; q – плотность орошения, м³/м²·час; ω – наличие вставок (если нет вставок, то берется значение 0).

По расчетам толщина пленки жидкости составила 4 мм.

² Отчет об устойчивом развитии СУЭК за 2016–2017 гг. URL: http://www.suek.ru/upload/iblock/9c9/SUEK_SDR_16_17_WWW_.pdf (дата обращения 10.02.2020).

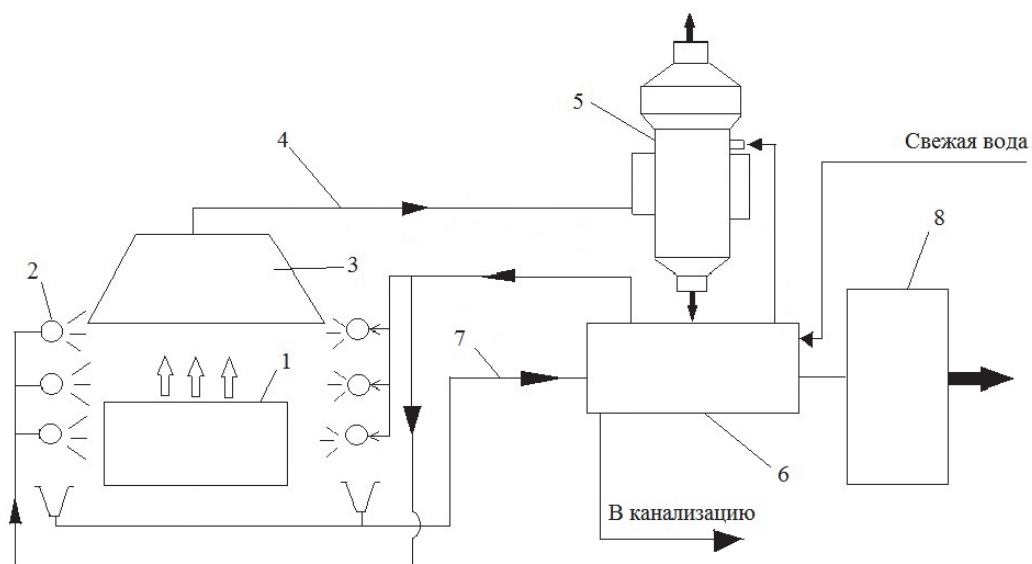


Рис. 2. Схема комплексной очистки воздуха рабочей зоны:
 1 – вагонопрокидыватель; 2 – форсунки; 3 – вытяжной зонт; 4 – пылепровод; 5 – вихревой абсорбер;
 6 – шламонакопитель; 7 – трубопровод некондиционных суспензий; 8 – пресс

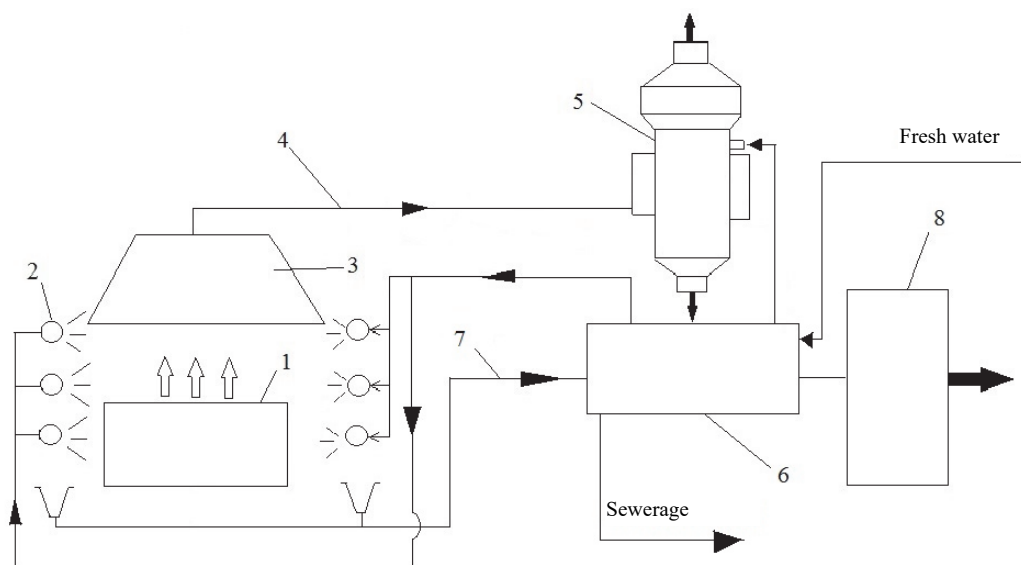


Figure 2. The working area complex air cleaning scheme:
 1 – car dumper; 2 – nozzles; 3 – exhaust hood; 4 – dust pipe; 5 – vortex absorber;
 6 – sludge collector; 7 – substandard suspensions pipeline; 8 – press

Внедрение данной установки позволило достичь следующих результатов:

- увеличения эффективности очистки воздуха от пыли на 19 % (общая степень очистки составит 99 %);
- эффективного очищения воздуха от частиц пыли диаметром порядка 0,2 мкм;
- роста производства угольных брикетов на 144 т в год;
- дополнительной очистки воздуха от пыли каменного угля по схеме на рис. 2.

На месте основного источника пылевыведения, где переворачиваются вагоны 1, устанавливается зонт из стального материала 3. При помощи воздушного насоса мелкие частицы пыли по трубопроводу 4 направляются в орошаемый вихревой абсорбер 5, в котором они улавливаются. Затем получившаяся водоугольная смесь попадает в шламонакопитель 6, где перемешивается с жидкостью, образовавшейся в результате основной очистки воздуха с форсунками 2. После отстаивания часть жидкости забирается на повторное орошение абсорбера и форсунки, а отстой с влажностью в 50–70 подается на высушивание. Так же в шламонакопитель подается свежая вода через трубопровод. После обезвоживания в смесь добавляют связующие вещества и брикетируют валковым прессом 8. Система включается при переворачивании вагонов или в случае, когда запыленность воздуха превышает среднесуточную ПДК_{сс} (6 мг/м³) [4]. Данная установка располагается непосредственно над местом переворачивания вагонов.

Схема брикетирования и расчет брикетов

После комплексной очистки воздуха образовавшаяся водоугольная смесь попадает в загрузочный бункер и далее суспензию подготавливают к брикетированию (рис. 3). Массовая концентрация твердой фазы в такой пульпе составляет 7,1 кг/м³.

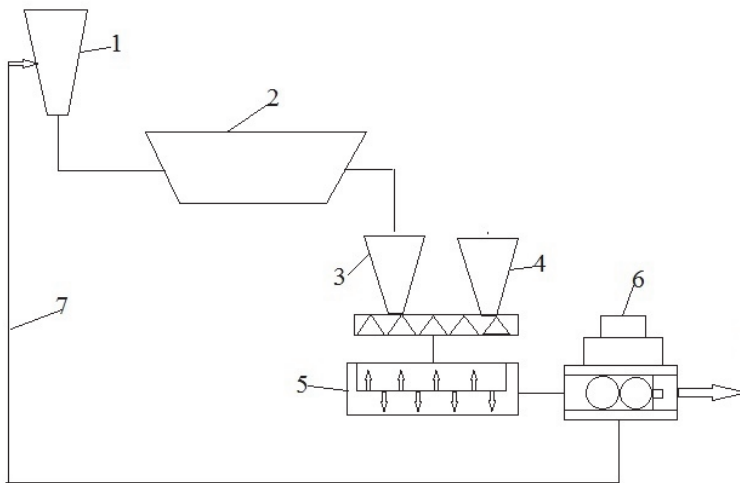


Рис. 3. Схема брикетирования угольной пыли:

1 – загрузочный бункер; 2 – сушильная камера; 3 – бункер с сухой смесью; 4 – бункер со связующим веществом; 5 – смеситель; 6 – пресс; 7 – трубопровод для отсева смеси

Figure 3. The briquetting coal dust scheme:

1 – loading bunker; 2 – drying chamber; 3 – bunker with dry mixture; 4 – bunker with a binder; 5 – mixer; 6 – press; 7 – pipeline for mixture screening

Так как исходный материал не обладает необходимыми связующими свойствами, добавляют связующие вещества, которые вводят после обезвоживания суспензии (до 15 % влажности при температуре 100–150 °С с помощью газовых сушилок 2)³. Наиболее оптимальным связующим элементом

³ Постановление главного санитарного врача РФ «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.2.5.3532-18 „Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны“» от 13 февраля 2018 г. № 25.

для брикетирования угля является пшеничная мука, которая расположена в загрузочном бункере 4. При высоких температурах мука липнет к влажной угольной пыли. Далее смесь охлаждается и перемешивается в смесителе 5 и подается на пресс штемпельного типа 6, воздействующий на смесь под давлением 0,03–0,05 МПа. Отсев смеси по трубопроводу 7 отправляется обратно в бункер 1. На выходе получают угольные брикеты, которые в последующем идут на реализацию. Стандартные брикеты имеют форму подушечек, размером от 1,5 до 60 см³ с теплотой сгорания 27 614,4 кДж/кг⁴ [5–7].

Без дополнительного улавливания угольной пыли вихревым абсорбентом в день выпускается 14 т брикетов (стоимость 69 500 руб.). При комплексной очистке воздуха объем выпускаемых брикетов увеличится до 17 т в день (стоимость 86 000 руб.).

Заключение

Представленная комплексная очистка газоздушных выбросов в цехе вагоноопрокидывателя обеспечивают эффективность улавливания до 99 %. При увеличении перевозки угля до 30 млн т в год данная система позволит дополнительно получить брикетов на сумму 900 тыс. руб. в год и при этом не превышать среднесуточную ПДК в рабочей зоне.

Список литературы

- [1] Зинченко В.А., Разумов В.В. Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) – пропущенное звено в классификации профессиональных заболеваний легких (критический обзор) // Клинические аспекты профпатологии: сборник научных трудов. Томск, 2002. С. 15–18.
- [2] Луканин А.В. Разработка массообменных аппаратов для систем производства микроводорослей, их гидравлические и массообменные характеристики: дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 221 с.
- [3] Луканин А.В. Инженерная экология: защита литосферы от твердых промышленных и бытовых отходов: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2018. 556 с.
- [4] Луканин А.В. Экологическое совершенствование крупнотоннажных производств кормового белка: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1994. 269 с.
- [5] Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности. 4-е изд., перераб. и доп. Калуга: Изд-во Н.Ф. Бочкаревой, 2007. 800 с.
- [6] Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. Справочник по пыле- и золоулавливанию / под общ. ред. А.А. Русанова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
- [7] Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981. 392 с.

References

- [1] Zinchenko VA, Razumov VV. Occupational chronic obstructive pulmonary disease (COPD) – a missing link in the classification of occupational lung diseases (critical review). *Clinical Aspects of Occupational Pathology*. Tomsk; 2002. p. 15–18. (In Russ.)

⁴ Технология прессования угольной пыли. Технология брикетирования угля, бурого угля и кокса. URL: <http://bioresurs.com/> (дата обращения: 15.02.2020).

- [2] Lukanin AV. *Development of mass transfer apparatus for microalgae production systems, their hydraulic and mass transfer characteristics* (dissertation of the Candidate of Technical Sciences). Moscow; 1984. (In Russ.)
- [3] Lukanin AV. *Engineering ecology: protection of the lithosphere from solid industrial and domestic waste*. Moscow: INFRA-M Publ.; 2018. (In Russ.)
- [4] Lukanin AV. *Ecological improvement of large-scale production of fodder protein* (dissertation of the Doctor of Technical Sciences). Moscow; 1994. (In Russ.)
- [5] Rodionov AI, Klushin VN, Sister VG. *Technological processes of ecological safety*. 4th ed., rev. and add. Kaluga: N.F. Bochkareva Publ.; 2007. (In Russ.)
- [6] Birger MI, Valdberg AYu, Myagkov BI. Dust and ash collection guide (AA Rusanova, ed.). 2nd ed., rev. and add. Moscow: Energoatomizdat Publ.; 1983. (In Russ.)
- [7] Uzhov VN, Valdberg AYu, Myagkov BI, Reshidov IK. *Cleaning of industrial gases from dust*. Moscow: Khimiya Publ.; 1981. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Луканин Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры экологического мониторинга и прогнозирования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов. eLIBRARY SPIN-код: 8513-1081. E-mail: lukanin@bk.ru

Клеванова Елена Сергеевна, аспирант, кафедра экологического мониторинга и прогнозирования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов. eLIBRARY SPIN-код: 4111-7987. E-mail: eklevanova@mail.ru

Bio notes:

Alexander V. Lukanin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Environmental Monitoring and Forecasting, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). eLIBRARY SPIN-code: 8513-1081. E-mail: lukanin@bk.ru

Elena S. Klevanova, PhD student, Department of Environmental Monitoring and Forecasting, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). eLIBRARY SPIN-code: 4111-7987. E-mail: eklevanova@mail.ru