



14. Новиков М.А. Связь знакоопределенности с приведением к полным квадратам пучка двух квадратичных форм // Вестник Бурят. гос. ун-та. Сер.: Математика и информатика. 2015. Вып. 9. С. 7–15.

REFERENCES

1. Lyapunov A.M. Obshchaya zadacha ob ustoichivosti dvizheniya [The general problem of the stability of motion]. Vol. 2. Moscow-Leningrad: AS USSR Publ., 1956, pp. 7–263.
2. Chetaev N.G. Ustoichivost' dvizheniya; raboty po analiticheskoi mekhanike [Stability of motion; works on analytical mechanics]. Moscow: AS USSR Publ., 1962, 535 p.
3. Letov A.M. Ustoichivost' reguliruemyykh system [Stability of regulated systems]. Moscow: Fizmatgiz Publ., 1962, 483 p.
4. Letov A.M. Matematicheskaya teoriya protsessov upravleniya [Mathematical theory of control processes]. Moscow: Nauka Publ., 1981, 255 p.
5. Zubov V.I. Ustoichivost' dvizheniya [Stability of motion]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1963, 270 p.
6. Kamenkov V.G. Ustoichivost' dvizheniya; kolebaniya, aerodinamika [Stability of movement; fluctuations, aerodynamics]. Vol. 1. Moscow: Nauka, 1971, 255 p.
7. Kamenkov V.G. Ustoichivost' i kolebaniya nelineinykh system [Stability and oscillations of nonlinear systems]. Vol.2. Moscow: Nauka Publ., 1972, 213 p.
8. Malkin. I.G. Teoriya ustoichivosti dvizheniya [Theory of motion stability]. Moscow: Nauka Publ., 1966, 530 p.
9. Demidovich B.P. Leksii po matematicheskoi teorii ustoichivosti [Lectures on the mathematical theory of stability]. Moscow: Nauka Publ., 1967, 472p.
10. Merkin D.R. Vvedenie v teoriyu ustoichivosti dvizheniya [Introduction to the theory of motion stability]. Moscow: Nauka Publ., 1971, 312 p.
11. Kuz'min P.A. Malye kolebaniya i ustoichivost' dvizheniya [Small oscillations and stability of motion]. Moscow: Nauka Publ., 1973, 206 p.
12. Gantmakher F.R. Teoriya matrits [Matrix Theory]. Moscow: Nauka Publ., 1967, 576 p.
13. Berezin I.S. Zhidkov N.P. Metody vychislenii [Methods of calculation]. Vol.2. Moscow: Fizmatlit Publ., 1959, 620 p.
14. Novikov M.A. Svyaz' znakoopredelennosti s privedeniem k polnym kvadratam puchka dvukh kvadrachnykh form [The connection of property of having fixed sign with reduction to a complete square of a cluster of two quadratic forms]. *Vestnik Buryat. gos. un-ta. Series: Matematika i informatika* [Bulletin of Buryat State University. Series: Mathematics and Informatics], 2015, Issue 9, pp. 7–15.

УДК 621.928.519.8

DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).30-34

Елсуков Владимир Константинович
д. т. н., профессор кафедры «Промышленная
теплоэнергетика»,
Братский государственный университет
e-mail: elswk@mail.ru

Elsukov V.K.,
Doctor of Engineering Science, Prof., the Subdepartment of
Industrial Heat Power Engineering, Bratsk State University
e-mail: elswk@mail.ru

Информация о статье
Дата поступления: 10 августа 2017 г.

Article info
Received: August 10, 2017

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО СБРОСА ЗОЛЫ ИЗ БУНКЕРОВ С РАЗНЫМИ ДАВЛЕНИЯМИ

THE MATHEMATICAL MODEL OF A MECHANICAL DEVICE FOR CENTRALIZED DISCHARGE OF ASH FROM BUNKERS UNDER DIFFERENT PRESSURES

Аннотация. Рассматриваются различные схемы сброса золы из бункеров золоуловителей в каналы гидрозолоудаления оборудования энергетического комплекса. Показаны недостатки этих схем: большие расходы смывной воды; перетоки газов через обшце желоба между бункерами различного давления, снижающие КПД золоуловителей; забития течек золой. Описывается изобретение, внедрение которого устранит или уменьшит указанные недостатки. Высокая эффективность рассматриваемого изобретения иллюстрируется примером его практического использования на районной Галачинской котельной г. Братска. Для определения конструктивно-эксплуатационных параметров этого изобретения (устройства) разрабатывается его математическая модель, основанная на балансе сил, действующих в нем в статическом равновесии. С помощью полученной модели выполнены расчеты конструктивно-эксплуатационных параметров рассматриваемого устройства в двух возможных вариантах его реализации. Такими определяемыми параметрами являются максимальная и минимальная высоты золотого столба, масса и положение груза затвора непрерывного действия. Выявлены эксплуатационные показатели золоуловителя, влияющие на указанные параметры. В качестве примера для расчета принят золоуловитель типа ЦБР-150У-1280, имеющий золовые бункера с тремя различными значениями разрежений. Расчеты выполнены для двух возможных вариантов включения рассматриваемого устройства в схему золоудаления. Варьируется число бункеров с различными давлениями, подключаемых к рассматриваемому устройству (изобретению). Показано, что внедрение устройства снижает число золосмывных аппаратов и соответственно расход смывной воды. Сделаны выводы о целесообразности широкого внедрения рассматриваемого изобретения в схемы золоудаления на производстве и необходимости дальнейшего совершенствования представленной модели в части более полного учета конструктивных параметров.



Ключевые слова: золо- и пылеулавливание, загрузочные устройства, дозаторы сыпучей среды, затворы непрерывного и периодического действия, математическая модель устройства.

Abstract. Various schemes of ash discharge from ash collectors hoppers to the ducts of hydraulic ash removal of power complex equipment are considered in the article. The shortcomings of these schemes are large costs of flush water, gas flows through the conjoint gutters between the bunkers with various pressures that reduce the efficiency of ash collectors, resulting in chutes clogging with ash. The paper describes the invention, the implementation of which is going to eliminate or reduce the said drawbacks. High efficiency of the considered invention is illustrated by an example of its practical use at the district Galachinskaya boiler house in Bratsk. To determine the design and operational parameters of this invention (device), a mathematical model is developed, based on the balance of forces applied in it in static equilibrium. With the help of the obtained model, the design and operational parameters of the device in question have been calculated in two possible variants of its implementation. These determined parameters are the maximum and minimum height of the ash column, the mass and position of the load of the continuously-operated shutter. The operating parameters of the ash collector, which affect these parameters, are revealed. As an example for the calculation, an ash collector of the type CBR-150U-1280 having ash bunkers with three different values of rarefaction was accepted. Calculations are made for two possible variants of the considered device being connected into the ash removal circuit. The number of bunkers with different pressures connected to the considered device (invention) is varied. It is shown that the introduction of the device reduces the number of ash-slucing devices and, correspondingly, the flushing water consumption. Conclusions have been made about the advisability of wide introduction of the invention to ash removal circuit in production and the need for further improvement of the presented model, with regard to a more complete consideration of the design parameters.

Keywords: ash and dust collecting, feeding devices, granular medium dispensers, shutters of continuous and periodic action, mathematical model of a device.

Различные системы очистки газов от пыли или золы и последующего удаления уловленного материала к средствам транспортирования широко применяются в энергетике и промышленности. Поэтому важными остаются вопросы повышения надежности и экономичности указанных систем. Известны современные публикации отечественных и зарубежных авторов по проблемам совершенствования этих систем [1-11].

Существуют следующие схемы удаления золы (пыли) из бункеров золоулавливающей установки. 1. Из каждого бункера зола сбрасывается по течке к затворам периодического и непрерывного действия, смесителю, транспортному средству, которыми могут быть, соответственно, шиббер, мигалка, золосмывной аппарат и канал гидрозолоудаления [12, рис. 7-10]. Недостатком данной схемы является то обстоятельство, что при увеличении числа бункеров соответственно увеличивается число затворов периодического и непрерывного действия, смесителей, что вызывает рост расхода транспортирующей среды и усложняет работу эксплуатационного персонала. 2. Зола из бункеров сбрасывается по течкам в общий желоб. Затем зола централизованно поступает к смесителю, из которого водозоловая пульпа сливается в канал гидрозолоудаления. Перед смесителем обычно устанавливается ремонтный затвор периодического действия [12, рис. 7-12]. Недостатком этой схемы является то обстоятельство, что при наличии разных давлений в бункерах через течки и общий желоб вместе с золой перетекают газы. Это приводит к резкому падению КПД золоуловителя. Различные давления могут создаваться в золовых бункерах различных ступеней золоулавливания, расположенных последовательно по ходу движения очищаемых газов, особенно при разных типах этих ступеней.

Если же течки от бункеров будут заведены в общий желоб под углом ниже золowego столба, то возможен останов (задержка) золы с последующим забитием течек (если течки заведены в желоб при углах, меньших углов естественного откоса в состоянии покоя).

Для устранения указанных недостатков было разработано устройство, в котором реализуется следующее техническое решение: течки от бункеров, находящихся под различным давлением, подводятся к затвору непрерывного действия коаксиально и заведены ниже верхнего уровня золowego столба. Золовой столб препятствует перетеканию газов между бункерами (см. рис.). Для улучшения трассировки движения золы течки выполняются из двух участков: 1 – наклонного от бункера до вертикальной оси, проходящей через затвор непрерывного действия; 2 – прямого от поворота течки до затвора непрерывного действия (мигалки).

Поворот течки выполняется над золовым столбом и зола в течках постоянно движется, пока не упадет на поверхность золowego столба. Это позволит проектировать углы наклона течек близкими к углам естественного откоса золы в состоянии движения, что может увеличить централизацию её удаления. Описанное устройство признано изобретением [13].

Внедрение этого устройства на районной Галачинской котельной г. Братска для централизованного сброса золы из бункеров золоуловителя типа ЦБР-150У-1280, находящихся под различным давлением, позволило заменить 15 золосмывных аппаратов на три и повысить средний за отопительный период КПД золоуловителя на 13 % [14] (За счет исключения перетока газов между бункерами).

Из изложенного следует, что важную роль в работе рассматриваемого устройства играет такой его параметр, как расчетная высота золowego столба.



В литературе [12] высоту золотого столба (м) предлагается определять по формуле

$$H = \frac{S}{g\rho_n} + 0,1, \quad (1)$$

где S - разрежение в бункере, H/m^2 ; g - ускорение свободного падения, m/c^2 ; ρ_n - насыпная плотность золы или пыли, $кг/м^3$.

Формула позволяет оценить высоту золотого столба, которая необходима для исключения присосов воздуха. Однако формула не определяет реальной высоты золотого столба в условиях эксплуатации, поскольку не учитывает влияние груза (противовеса) мигалки.

Первоначально рассмотрим устройство при условии, что течки подведены непосредственно к клапану. Составим балансовое уравнение сил в условиях равновесия, действующих на мигалку (см. рис. 1)

$$\sum N_{\delta_i} + N_z \cdot \left(\frac{\delta}{a}\right) = N_{z.c} \quad (2)$$

где $\sum N_{\delta_i}$ - сумма сил, притягивающих клапан мигалки к желобу из-за разницы давлений в окружающей среде и золотых бункерах, H ; N_z - сила тяжести груза, которая прижимает клапан мигалки к желобу через рычаг, H ; a, δ - расстояния от центров тяжести, соответственно, клапана мигалки и груза до оси вращения рычага, m ; $N_{z.c}$ - сила тяжести золотого столба, отрывающая клапан мигалки от желоба, H .

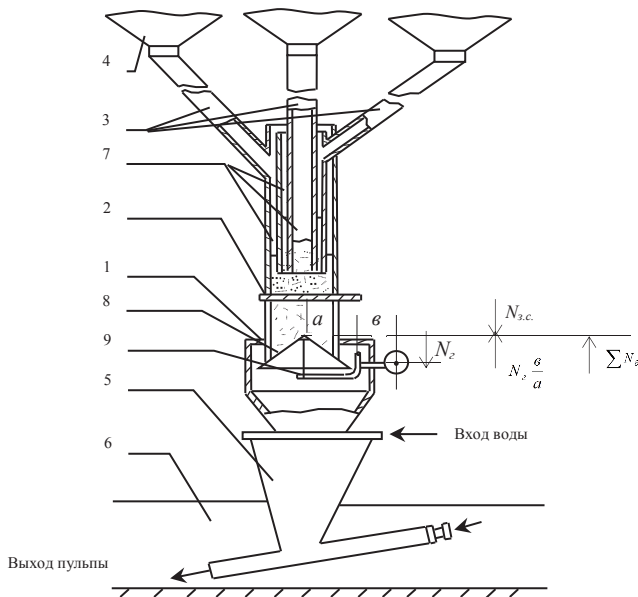


Рис. 1. Устройство для централизованного сброса золы из нескольких бункеров, находящихся под разным давлением.

На рис. 1 введены следующие обозначения: 1 - затвор непрерывного действия (мигалки); 2 - затвор периодического действия (шибер); 3 - течки; 4 - бункера; 5- водозоловой смеситель; 6 - канал гидрозолоудаления; 7 - коаксиальный ввод течек; 8 - клапан; 9 - рычаг; a, δ - расстояния от центров тяжести, соответственно, клапана мигалки и груза до оси вращения рычага; $\sum N_{\delta_i}$ - сумма сил, притягивающих клапан мигалки к желобу из-за разницы давлений в окружающей среде и золотых бункерах; N_z - сила тяжести груза; $N_{z.c}$ - сила тяжести золотого столба.

Из рисунка видно, вертикальные участки течек, коаксиально подведенные в золотой столб, делят устройство (общий желоб) на секции. Число секций (i) соответствует числу бункеров различного давления, но к каждой секции может быть подключено несколько бункеров одинакового давления.

Сила N_{δ_i} , действующая в каждой секции, может быть определена по формуле

$$N_{\delta_i} = S_i \cdot F_i, \quad (3)$$

где S_i - разрежение в i -й секции (бункере), H/m^2 ; F_i - площадь сечения секции, m^2 .

Площади сечений секций, представляющих собой разницу площадей кругов разного диаметра, можно рассчитать по формуле

$$F_i = \frac{\pi}{4} (d_{\delta}^2 - d_m^2), \quad (4)$$

где d_{δ}, d_m - больший и меньший диаметры секции.

Силы тяжести N_z и $N_{z.c}$ могут быть выражены как произведения соответствующих масс на ускорение свободного падения. После подстановки в (2) всех составляющих из нее можно выразить массу золы золотого столба во всех секциях по формуле

$$\sum m_i = \frac{1}{g} \sum (S_i \cdot F_i) + m_z \cdot \frac{\delta}{a}, \quad (5)$$

где m_z - масса груза мигалки, $кг$.

Массу золы в i -й секции можно рассчитать по формуле

$$m_i = \kappa_i \cdot \sum m_i, \quad (6)$$

где κ_i - доля золы, поступающей на устройство от i -го бункера, определяемая из анализа работы золоуловителя.

Высота золотого столба в течке i -й секции может быть определена по формуле

$$H_i = \frac{m_i}{F_i \cdot \rho_n}, \quad (7)$$



Т а б л и ц а 1

**Расчетные
конструктивно-эксплуатационные параметры
устройства для централизованного сброса золы из
нескольких бункеров, находящихся
под различным давлением**

Параметры	Обозначения	№ секций	Варианты	
			С двумя секциями	С тремя секциями
Разрежение в бункерах (Н/м ²):	S_i	1	500	500
		2	1000	1000
		3	-	1200
Наружные и внутренние диаметры течек (м) по секциям:	d_n/d_e	1	0,1/0,096	0,1/0,096
		2	0,15/0,146	0,13/0,126
		3	-	0,15/0,146
Площади сечений (м ²) по секциям:	F_i	1	$7,23 \cdot 10^{-3}$	$7,23 \cdot 10^{-3}$
		2	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$4,61 \cdot 10^{-3}$
		3	-	$3,45 \cdot 10^{-3}$
Масса золы в секциях, кг	Σm_i		16,28	16,26
Доля золы, поступающей на устройство, по секциям:	κ_i	1	0,17	0,09
		2	0,83	0,455
		3	-	0,455
Высота золотого столба (м) в секциях:	H_i	1	0,13	0,07
		2	0,51	0,54
		3	-	0,72
Полная высота золотого столба (м) по секциям:	H_i^n	1	0,13	0,07
		2	0,51	0,54
		3	-	0,72

Примечания.

- 1) Насыпная плотность золы (ρ_n) принята 3000 кг/м³.
- 2) Длины между осью вращения рычага мигалки и центрами тяжести соответственно клапана и груза мигалки (a, e) равны между собой.
- 3) Масса груза мигалки (m_r) в 1-м и 2-м вариантах принята 15 кг.

Заключение

1. Рассмотрено устройство для централизованного сброса золы из нескольких бункеров, находящихся под различным давлением, внедрение которого позволит существенно повысить эффективность схем золоудаления.

2. Представлена математическая модель (2)-(7), разработанная при условии, что течи от золовых бункеров подведены непосредственно к клапану мигалки.

3. Необходимо дальнейшее совершенствование представленной модели с целью учета влияния затвора периодического действия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елсуков В.К., Латушкина С.В. Оценка влияния рециркуляции золы на эффективность золоуловителей на примере батарейного циклона типа ЦБР-150У-1280 // Теплоэнергетика - 2014. - №10. - С. 39-43.
2. Пахомов Л.А., Терехов В.И. Распространение твердых частиц в газодисперсном ограниченном закрученном потоке. Эйлера и Лагранжево описания // Теплофизика и аэромеханика. 2017. №3. с.335-348.
3. Sikovsky D.P. Singularity of inertial particle concentration in the viscous sublayer of wall-bounded turbulent flows // Flow, Turbulence and Combust. 2014. Vol. 92. P. 41-64.
4. Жуйков А.В. Модернизация электрофильтра марки УГ 2-3-26 с целью повышения эффективности его работы. //Электрические станции. 2016. №3. с.38-40.
5. Шваб А.В., Евсеев Н.С. Исследование процесса сепарации частиц в турбулентном закрученном потоке // Теор. основы хим. технологии. 2015. Т. 49, № 2. С. 197-205.



6. Деревич И.В. Спектральная модель диффузии тяжелой инерционной примеси в случайном поле скорости сплошной среды // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22, № 2. С. 151-170.
7. Пахомов М.А., Терехов В.И. Численное моделирование турбулентного закрученного газодисперсного потока за внезапным расширением трубы // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22, № 5. С. 621-632.
8. Вараксин А.Ю. Гидрогазодинамика и теплофизика двухфазных потоков: проблемы и достижения // Теплофизика высоких температур. 2013. Т. 51, № 3. С. 421-455.
9. Пахомов М.А., Терехов В.И. Сравнение эйлера и лагранжева описаний при исследовании течения и теплообмена в газокapelном осесимметричном отрывном турбулентном потоке // Прикл. механика и технич. физика. 2013. Т. 54, № 4. С. 96-108.
10. Amani E., Nobari M.R.H. Systematic tuning of dispersion models for simulation of evaporating sprays // Int. J. Multiphase Flow. 2013. Vol. 48. P. 11-31.
11. Liu Y., Zhou L.X., Xu C.X. Numerical simulation of instantaneous flow structure of swirling and non-swirling coaxial-jet particle-laden turbulence flows // Physica A. 2010. Vol. 389. P. 5380-5389.
12. Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. М.: Энергия, 1969.
13. А.с. 1747801 РФ, МКИ F23J1/00 Устройство для централизованного сброса золы из нескольких бункеров, находящихся под различным давлением / В.Т. Швалов, В.К. Елсуков, Л.В. Румянцева, Н.А. Якименко // Открытия. Изобретения. 1992. № 26.
14. Елсуков В.К., Семенов С.А., Бондаренко А.В. Анализ опыта эксплуатации и пути совершенствования золоуловителя типа ЦБР-150 У // Промышленная энергетика - 1994.- №7.- С.21-23.
15. Елсуков В.К. Влияние электростатических явлений на эффективность батарейных циклонов типа ЦБР-150-У // Промышленная энергетика - 2009. - №2. - С. 13-18.

REFERENCES

1. Elsukov V.K., Latushkina S.V. Otsenka vliyaniya retsirkulyatsii zoly na effektivnost' zoloulovitelei na primere batareynogo tsyklona tipa TsBR-150U-1280 [Evaluation of the influence of ash recirculation on the efficiency of ash collectors on the example of a battery cyclone of the type CBR-150U-1280]. *Teploenergetika [Heat power industry]*, 2014, No.10, pp. 39–43.
2. Pakhomov L.A., Terekhov V.I. Rasprostraneniye tverdykh chastits v gazodispersnom ogranichenom zakruchennom potoke. Eulerovo i Lagranzhevo opisaniya [Distribution of solid particles in a gas-dispersed bounded swirling flow. Euler and Lagrangian descriptions]. *Teplofizika i aeromekhanika [Thermal physics and aeromechanics]*. 2017, No.3, pp. 335–348.
3. Sikovsky D.P. Singularity of inertial particle concentration in the viscous sublayer of wall-bounded turbulent flows. *Flow, Turbulence and Combust.*, 2014, Vol. 92, pp. 41–64.
4. Zhuikov A.V. Modernizatsiya elektrofil'tra marki UG 2-3-26 s tsel'yu povysheniya effektivnosti ego raboty [Modernization of electrostatic precipitator UG 2-3-26 to increase its operation efficiency]. *Elektricheskie stantsii [Electric stations]*, 2016, No.3, pp. 38–40.
5. Shvab A.V., Evseev N.S. Issledovanie protsessa separatsii chastits v turbulentnom zakruchennom potoke [Investigation of the separation of particles in a turbulent swirling flow]. *Teor. osnovy khim. Tekhnologii [Teor. basis of chem. technologies]*, 2015, Vol. 49, No. 2, pp. 197-205.
6. Derevich I.V. Spektal'naya model' diffuzii tyazheloi inertsiionnoi primesi v sluchainom pole skorosti sploshnoi sredy [Spectral model of diffusion of a heavy inertial impurity in a random field of the velocity of a continuous medium]. *Teplofizika i aeromekhanika [Thermal physics and air mechanics]*, 2015, Vol. 22, No.2, pp. 151-170.
7. Pakhomov M.A., Terekhov V.I. Chislennoe modelirovaniye turbulentnogo zakruchennogo gazodispersnogo potoka za vnezapnym rasshireniem truby [Numerical simulation of a turbulent swirling gas-dispersed flow behind a sudden pipe expansion]. *Teplofizika i aeromekhanika [Thermal physics and air mechanics]*, 2015, Vol. 22, No. 5, pp. 621-632.
8. Varaksin A.Yu. Gidrogazodinamika i teplofizika dvukhfaznykh potokov: problemy i dostizheniya [Hydrodynamics and thermophysics of two-phase flows: problems and achievements]. *Teplofizika vysokikh temperatur [Thermal physics of high temperatures]*, 2013, Vol. 51, No. 3, pp. 421-455.
9. Pakhomov M.A., Terekhov V.I. Sravneniye eilerova i lagranzheva opisaniy pri issledovanii techeniya i teploobmena v gazokapel'nom osesimmetrichnom otryvnom turbulentnom potoke [A comparison of the Euler and Lagrangian descriptions in the study of flow and heat transfer in a gas-droplet axisymmetric separated turbulent flow]. *Prikl. mekhanika i tekhnich. Fizika [Applied mechanics and technical physics]*, 2013, Vol. 54, No. 4, pp. 96-108.
10. Amani E., Nobari M.R.H. Systematic tuning of dispersion models for simulation of evaporating sprays. *Int. J. Multiphase Flow*, 2013, Vol. 48, pp. 11-31.
11. Liu Y., Zhou L.X., Xu C.X. Numerical simulation of instantaneous flow structure of swirling and non-swirling coaxial-jet particle-laden turbulence flows. *Physica A*, 2010, Vol. 389, pp. 5380-5389.
12. Rusanov A.A., Urbakh I.I., Anastasiadi A.P. Ochistka dymovykh gazov v promyshlennoi energetike [Purification of flue gases in industrial energy engineering]. Moscow: Energiya Publ., 1969.
13. Shvalov V.T., Elsukov V.K., Rumyantseva L.V., Yakimenko N.A. *Ustroystvo dlya tseentralizovannogo sbrosa zoly iz neskol'kikh bunkerov, nakhodyashchikhsya pod razlichnym davleniem [Device for centralized ash discharge from several bunkers under different pressure]*. Inventor's certificate RF no. 1747801, MKI F23J1/00. *Otkrytiya. Izobreteniya [Discoveries. Inventions]*, 1992, No. 26.
14. Elsukov V.K., Semenov S.A., Bondarenko A.V. Analiz opyta ekspluatatsii i puti sovershenstvovaniya zolouloviteley tipa TsBR-150 U [Analysis of operating experience and ways to improve the ash collector of a CBR-150 U type]. *Promyshlennaya energetika [Industrial energy engineering]*, 1994, No.7, pp. 21–23.
15. Elsukov V.K. Vliyaniye elektrostatcheskikh yavleniy na effektivnost' batareynykh tsyklonov tipa TsBR-150-U [Influence of electrostatic phenomena on the efficiency of battery cyclones of a CBR-150-U type]. *Promyshlennaya energetika [Industrial energy engineering]*, 2009, No.2, pp. 13–18.