

Опыт использования устройства для централизованного сброса золы из нескольких бункеров, находящихся под различным давлением

В.К. Елсуков

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

elswk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6178-1902>

Статья поступила 14.02.2020, принята 21.02.2020

Анализируются различные схемы золоудаления от бункеров золоуловителей к средствам транспортирования, например, каналам гидрозолоудаления. Отмечаются недостатки этих схем: большой расход смывной воды, перетоки газов через общие золовые желоба между бункерами различного давления, забитие течек золой. Рассматривается изобретение, внедрение которого устранит или уменьшит указанные недостатки путем повышения надежности схем и централизации сброса золы. Высокая эффективность рассматриваемого изобретения иллюстрируется примером его практического использования в районной Галачинской котельной Братска. Для определения конструктивно-эксплуатационных параметров рассматриваемого изобретения (устройства) разработана его математическая модель, основанная на балансе сил, действующих в нем на затвор непрерывного действия. С помощью полученной модели выполнены расчеты конструктивно-эксплуатационных параметров рассматриваемого устройства в трех возможных вариантах его реализации. В указанных вариантах менялось число секций различного давления и учитывалось наличие затвора периодического действия. Определяемыми параметрами являются максимальная и минимальная высоты золы столба, масса и положение груза затвора непрерывного действия. Выявлены эксплуатационные показатели золоуловителя, влияющие на указанные параметры. В качестве примера принят золоуловитель типа ЦБР-150У-1280, имеющий золовые бункера с тремя различными значениями разрежений. На основе разработанной модели составлен алгоритм расчета конструктивно-эксплуатационных параметров рассматриваемого устройства при его проектировании. В зависимости от геометрических параметров золоуловителей определено максимальное число бункеров, присоединяемых к рассматриваемому устройству.

Ключевые слова: золо- и пылеулавливание; золоудаление; золовые течки; золовые бункера; затворы непрерывного и периодического действия; эффективность схем золоудаления; математическая модель.

Experience of using a device for centralized ash discharge from several bins located under various pressure

V.K. Elsukov

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

elswk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6178-1902>

Received 14.02.2020, accepted 21.02.2020

Various ash removal schemes from ash hoppers to transportation means, for example, ash removal channel, are analyzed. The drawbacks of these schemes are noted: high flow rates of flushing water, gas flows through common ash troughs between bunkers of various pressures, clogging of leaks with ash. The invention, the implementation of which will eliminate or reduce these disadvantages by increasing the reliability of circuits and centralizing the discharge of ash, is considered. The high efficiency of the invention in question is illustrated by an example of its practical use in the regional Galachinsk boiler house in Bratsk. To determine the structural and operational parameters of the invention (device) under consideration, its mathematical model is developed, based on the balance of forces acting in it (on a continuous shutter). Using the obtained model, the design and operational parameters of the device in question were calculated in three possible variants of its implementation. In these options, the number of sections of different pressures changed and the presence of a periodic shutter was taken into account. The maximum and minimum height of the ash column, the mass and position of the load of the shutter continuous action are defined parameters. Operational indicators of the ash collector, affecting these parameters, are identified. As an example, an ash collector of CBR-150U-1280 type, which has ash bins with three different vacuum values, was taken. Based on the developed model, an algorithm for calculating the structural and operational parameters of the device under consideration during its design has been compiled. Depending on the geometrical parameters of the ash collectors, the limit number of bins connected to the device under consideration is determined.

Keywords: ash and dust removal; ash removal; ash heat; ash hopper; valves for continuous and intermittent operation; efficiency of ash removal schemes; mathematical model.

Введение. Для удаления шлака и золы, образующихся при сжигании твердого топлива на теплоэнергоисточниках средней и большой мощности, в России получили наибольшее распространение гидравлические системы, в которых в качестве транспортирующего агента используется вода. Любые гидравлические системы включает следующие элементы: котлоагрегаты, золоуловители, золовые бункера под ними, течи для сброса золы из бункеров, затворы непрерывного и периодического действия, золосмывные аппараты, золошлаковые каналы внутри теплоэнергоисточника (самотечные), различные насосные установки и трубопроводы для транспортирования золошлаковой пульпы снаружи теплоэнергоисточника (напорные) к золоотвалу.

Эффективность систем характеризуется рядом показателей, в том числе надежностью и экономичностью, стоимостью сооружения и эксплуатации, санитарно-гигиеническими условиями работы эксплуатационного персонала. Указанная эффективность определяется расходом смывной воды и золошлаковой пульпы, затратами электроэнергии на их транспортирование, количеством задействованного оборудования и обслуживающего персонала. Повышению эффективности гидравлических систем золошлакоудаления посвящены многочисленные публикации отечественных и зарубежных специалистов [1–10].

Специалисты-производители отмечают неудачную (для повышения эффективности существующих систем) тенденцию: обеспечение качественного удаления золы из золосмывных аппаратов во многих случаях требует увеличения расхода смывной воды. Одним из возможных путей повышения эффективности систем, по мнению автора, является централизация сброса золы от нескольких бункеров к одному золосмывному аппарату. Такая централизация иногда применяется и в существующих схемах, однако при этом возникают нежелательные последствия. Эти последствия определяются характером движения газов и золы в применявшихся схемах золоудаления. Течи от разных золовых бункеров заводятся в общий желоб, который подводится к золосмывному аппарату (водозоловому смесителю) [10]. В желобе, с целью исключения присосов воздуха в золоуловитель и обеспечения возможности ремонта золосмывного аппарата, устанавливаются затворы непрерывного и периодического действия, которые создают над собой золовый столб определенной высоты. Возможны два варианта удаления золы в существующих схемах. В первом течи заводятся в желоб выше золового столба. Через них возникают перетоки газов из одного бункера в другой, которые резко снижают КПД золоулавливания. Указанные перетоки обусловлены разными давлениями из-за различного удаления золовых бункеров от дымососа котельной установки.

Во втором варианте удаления золы течи заводятся в желоб ниже уровня золового столба. При этом возможны останов золы и забитие течек, если они смонтированы под углом, меньше угла естественного откоса в состоянии покоя. Увеличение же угла наклона течек (от горизонтальной поверхности) требует и увеличения габаритных размеров системы золоудаления, что не всегда возможно.

Предлагаемая технология. Для устранения указанных нежелательных последствий централизации было разработано устройство, в котором реализуется следующее техническое решение: течи от бункеров, находящихся под различным давлением, подводятся к затвору непрерывного действия коаксиально и заведены ниже верхнего уровня золового столба. Золовый столб препятствует перетеканию газов между бункерами (рис. 1). Для улучшения трассировки движения золы течи выполняются из двух участков: 1) наклонного от бункера до вертикальной оси, проходящей через затвор непрерывного действия; 2) прямого от поворота течи до затвора непрерывного действия [11].

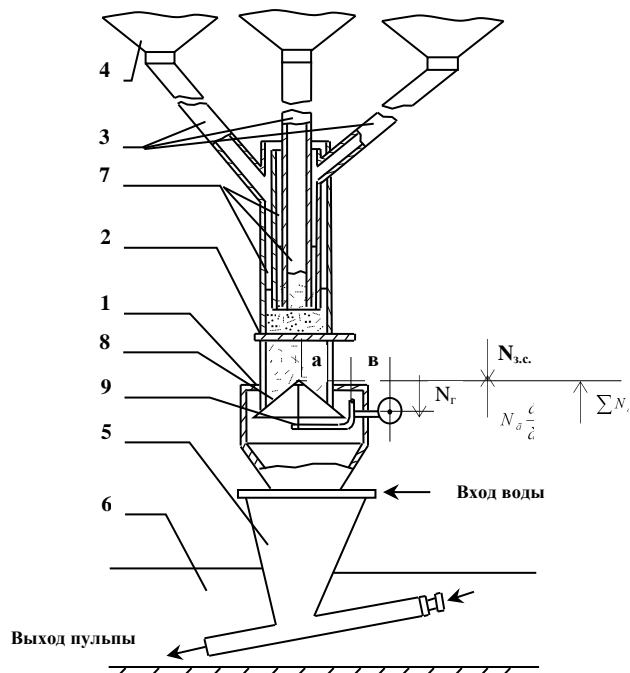


Рис. 1. Устройство для централизованного сброса золы из нескольких бункеров, находящихся под различным давлением: 1 — затвор непрерывного действия (мигалки); 2 — затвор периодического действия (шибер); 3 — течи; 4 — бункера; 5 — водозоловой смеситель; 6 — канал гидрозолоудаления; 7 — коаксиальный ввод течек; 8 — клапан; 9 — рычаг; а, в — расстояния от центров тяжести соответственно клапана мигалки и груза до оси вращения рычага; $\sum N_{\text{в}}$ — сумма сил, притягивающих клапан мигалки к желобу из-за разницы давлений в окружающей среде и золовых бункерах; N_r — сила тяжести груза; $N_{z.c.}$ — сила тяжести золового столба

Внедрение этого устройства в районной Галачинской котельной 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 % [12] (за счет исключения перетока газов между бункерами).

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

В литературе [10] высоту золового столба (m) 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 золowego столба, которая необходима для исключения присосов воздуха. Однако формула не определяет реальной высоты золowego столба в условиях эксплуатации, поскольку не учитывает влияние груза (противовеса) мигалки.

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

$$\sum N_{\sigma_i} + N_{\Gamma} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) = N_{з.с}, \quad (2)$$

где $\sum N_{\sigma_i}$ — сумма сил, притягивающих клапан мигалки к желобу из-за разницы давлений в окружающей среде и золowych бункерах, H ; N_{Γ} — сила тяжести груза, которая прижимает клапан мигалки к желобу через рычаг, H ; a , b — расстояния от центров тяжести соответственно клапана мигалки и груза до оси вращения рычага, m ; $N_{з.с}$ — сила тяжести золowego столба, отрывающая клапан мигалки от желоба, H .

Схему золоуловителя и особенности его работы можно посмотреть в литературе [1; 12; 13].

Расчеты первоначально были выполнены для двух вариантов включения рассматриваемого устройства в схему золоудаления. В первом варианте устройство содержит две секции, каждая из которых соединена течками соответственно с камерами запыленных газов и золowymi камерами. Во втором варианте устройство содержит три секции, две из которых подключены к указанным камерам, а третья — к золowym бункерам группы циклонов ЦН-15. Применение устройства во втором варианте могло бы уменьшить число золосмывных аппаратов на золоуловителе до двух сравнительно с первым вариантом (с тремя аппаратами). Результаты расчетов изложены в [9].

На практике выше затвора непрерывного действия обычно устанавливают затворы периодического действия (поворотные клапаны или выдвигаемые шиберы). В этом случае течки от бункеров можно подвести в золовой столб только выше указанного затвора периодического действия. В этом случае полную высоту золowego столба (см. рис. 1) можно определить по формуле:

$$H_i^n = H_k + H_i, \quad (3)$$

где H_k — часть полной высоты золowego столба между клапаном мигалки и окончанием течек, определяется по конструктивным соображениям; H_i — часть полной высоты золowego столба, приходящаяся на течки (секции).

В случае установки поворотного круглого клапана величину H_k можно оценить как:

$$H_k = 1.5 \cdot d_k, \quad (4)$$

где d_k — внутренний диаметр клапана (желоба).

Для определения величины H_i можно использовать формулу (2), но предварительно необходимо найти массу груза. Для этого на основе (2) составим балансовое уравнение:

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

где m_k — масса золы в золowym столбе высотой H_k . Параметр m_k можно определить из [9], приняв $H_i = H_k$ и $F_i = F_{ж}$ (площади сечения желоба).

Из (5) можно выразить один неизвестный параметр, например m_{Γ} , при прочих заданных или найденных показателях. В этом случае массу золы в секциях $\sum m_i$ целесообразно выразить как часть m_k , которая нужна для исключения перетоков газов между секциями (течками):

$$\sum m_i = n \cdot m_k, \quad (6)$$

где n — доля запаса массы (высоты) золы в течках.

С учетом (1) эту долю можно определить по формуле:

$$n = \frac{0.1}{H_k}. \quad (7)$$

Далее по [9] определяются параметры: m_i , H_i , H_i^n . По описанной модели (2) – (7) выполнены расчеты параметров рассматриваемого устройства с включением в него затвора периодического действия и трех секций (третий вариант). Согласно расчету, полная высота золowego столба по секциям составила соответственно 0.245, 0.395 и 0.445, а масса груза — 15 кг.

Из сравнения H_i^n по вариантам можно сделать вывод, что в третьем варианте зола распределена по секциям более равномерно, чем в первом и втором, которые представлены в [9]. Следовательно, габаритные размеры устройства в третьем варианте могут быть меньше, чем в других вариантах. Этот результат можно объяснить следующими факторами. В первом и втором вариантах масса груза принята равной 15 кг (мигалки могут укомплектовываться такими грузами), а в третьем — рассчитана по заданным параметрам (d_k , K_i , S_i). Следовательно, величина m_{Γ} в первом и втором вариантах содержит больший запас, чем в третьем варианте.

На основе изложенного анализа работы рассматриваемого устройства можно предложить следующий алгоритм его проектирования. 1) Оценивается возможность подвода золы от различных бункеров к рассматриваемому устройству при условии, что углы наклона течек больше углов естественного откоса. 2) Определяются расходы золы от бункеров и доли этих расходов в общем расходе, поступающем на устройство (k_i , с учетом КПД золоуловителя). 3) Уточняются и задаются эксплуатационные и конструктивные параметры: диаметры и тип затворов непрерывного и периодического действия, разрежения в бункерах. 4) Дальнейшие расчеты выполняются по представленным формулам (2) – (7); пример расчета представлен в [9]. 5) Определяются габаритные размеры устройства: вертикальные участки течек должны начинаться выше золowych столбов (H_i^n) и заканчиваться в них на высоте H_k ; предельные положения груза мигалки, определяемые отношением параметров (b/a), должны соответствовать максимальному и минимальному значениям, соответственно H_i^n и H_k .

Отметим, что представленная модель может быть использована для расчета параметров рассматриваемого устройства при любом числе секций (i), в том числе, если $i = 1$, т. е. для существующих в настоящее время схем. Ее использование позволит, в частности, оценить полную высоту золового столба (H_i^n) в зависимости от массы и положения груза мигалки и при необходимости скорректировать эти параметры.

В заключение статьи оценим число бункеров, которые можно присоединить к рассматриваемому устройству для централизованного сброса золы. Это число зависит от расстояния между бункерами и их высоты над золосмывными аппаратами. Указанные параметры могут сильно меняться в зависимости от типов золоуловителя и энергоисточника. Анализ схем систем пыле- и золоулавливания показывает [10], что расстояние между бункерами батарейных циклонов может составлять 1.8 м и определяется поперечными размерами секций, а для электрофильтров — 4.5 м и определяется протяженностью отдельных полей по ходу газов. Для батарейного циклона типа ЦБР-150У-1280 расстояние между ближайшими бункерами (присоединенными к секциям различного давления) составляет всего ≈ 0.9 м. На этом батарейном циклоне, установленном в Галачинской котельной, к одному устройству для централизованного сброса золы первоначально были присоединены семь бункеров. При этом расстояние между дальними бункерами (осями симметрии) составляло ≈ 4 м, а высота от мигалки устройства до уровня бункеров ≈ 3.5 м. К настоящему времени указанные золоуловители были реконструированы с уменьшением числа бункеров, присоединенных к рассматриваемому устройству, до четырех.

На фото (рис. 2, 3) представлено рассматриваемое устройство при его установке под двумя типами золоуловителей. Устройство с тремя течками (присоединено, соответственно, к трем бункерам) установлено под электрофильтром типа УГ-2-3-37, а устройство с четырьмя течками — под батарейным циклоном типа ЦБР-150У-1280. Меньшее число течек (и бункеров), присоединенных к устройству под электрофильтром, определяется большими размерами полей (2.5 м) при высоте между уровнем бункеров и мигалкой устройства ≈ 5 м. Течки под электрофильтром подведены к устройству под углом $\approx 55^\circ$, что несколько больше угла естественного откоса в состоянии покоя ($\alpha_{\text{пок}} = 50^\circ$). На батарейных циклонах течка от дальнего бункера подведена под углом $\approx 40^\circ$, что близко к углу естественного откоса в состоянии движения ($\alpha_{\text{дв}}$) [4].

Следует отметить, что более надежно при проектировании устройства принимать углы наклонов течек $\alpha \geq \alpha_{\text{пок}}$, хотя вышеотмеченная фотография фиксирует большие возможности устройства сравнительно с традиционными схемами золоудаления.

Относительно высоты расположения золоуловителей. Во многих случаях рассматриваемое устройство может быть установлено под золоуловителями без изменения их высоты, как это сделано в Галачинской котельной. В каких-то случаях может потребоваться увеличение высоты установки золоуловителей, что представляется принципиально вполне возможным, поскольку габаритная высота электрофильтров и

батарейных циклонов меньше, чем у котельных агрегатов, за которыми они установлены. Поэтому изменение высоты золоуловителей может быть выполнено в рамках существующих зданий (корпусов), где они установлены.

Затраты на монтажные и ремонтные работы (при увеличении высоты золоуловителя) могут сравнительно быстро окупиться за счет последующего энергосбережения от уменьшения расхода смывной воды.



Рис. 2. Присоединение трех течек от бункеров электрофильтра к устройству для централизованного сброса золы



Рис. 3. Присоединение четырех течек от бункеров батарейного циклона к устройству для централизованного сброса золы

Таким образом, число бункеров, присоединяемых к рассматриваемому устройству, может меняться, в зависимости от конкретных условий, примерно от двух до семи.

Выводы.

1. Рассмотрены различные схемы гидрозолошлакоудаления внутри теплоисточника, включая предлагаемое устройство для централизованного сброса золы из нескольких бункеров, находящихся под различным давлением.

2. Представлены математическая модель (2) – (7) и алгоритм расчета конструктивно-эксплуатационных

параметров рассмотренного устройства, включающего затвор периодического действия.

3. Представлены результаты расчетов указанных параметров для трех возможных вариантов его реализации на золоуловителе типа ЦБР-150У-1280.

4. Показано, что количество бункеров, присоединяемых к рассматриваемому устройству, зависит от геометрических параметров золоуловителя — расстояния между бункерами и их высоты над золосмывными аппаратами. Это количество может меняться, в зависимости от конкретных условий, примерно от двух до семи.

Литература

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. Эйлерово 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 // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49, № 2. С. 197–205.
6. 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.
7. 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.
8. Thompson T., Cheng Fang Lee. Ci Liang Guo. Electrostatic precipitator efficiency retrieval through mechanical revamping at oil-fired boiler // CEPSEI, 2016.
9. Елсуков В.К. Математическая модель механического устройства для централизованного сброса золы из бункеров с разными давлениями // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3 (55). С. 30–34.
10. Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. М.: Энергия, 1969.
11. Швалов В.Т., Елсуков В.К., Румянцева Л.В., Якименко Н.А. Устройство для централизованного сброса золы из нескольких бункеров, находящихся под различным давлением: а.с. 1747801 Рос. Федерация // Открытия. Изобретения. 1992. № 26.
12. 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.
13. 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. Estimation of ash recirculation effect upon ash collector efficiency by the example of a tsbr-150u-1280 multicyclone collector // Thermal Engineering. 2014. № 10. P. 39–43.
2. Pahomov L.A., Terekhov V.I. Distribution of solid particles in a gas-dispersed bounded swirling flow. Euler and Lagrangian descriptions // Thermophysics and Aeromechanics. 2017. № 3. P. 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. Zhujkov A.V. Modernization of electrostatic precipitator UG 2-3-26 to increase its operation efficiency // Electrical stations. 2016. № 3. P. 38–40.
5. Shvab A.V., Evseev N.S. Investigation of the separation of particles in a turbulent swirling flow // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2015. V. 49, № 2. P. 197–205.
6. 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.
7. 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 // Physics A. 2010. Vol. 389. P. 5380–5389.
8. Thompson T., Cheng Fang Lee. Ci Liang Guo. Electrostatic precipitator efficiency retrieval through mechanical revamping at oil-fired boiler // CEPSEI, 2016.
9. Elsukov V.K. The mathematical model of a mechanical device for centralized discharge of ash from bunkers under different pressures // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2017. № 3 (55). P. 30–34.
10. Rusanov A.A., Urbah I.I., Anastasiadi A.P. Fumes Treating in Industrial Power Engineering. M.: Energiya, 1969.
11. Shvalov V.T., Elsukov V.K., Rumyancheva L.V., Yakimenko N.A. Device for centralized ash discharge from several bunkers under different pressures: a.s. 1747801 Ros. Federaciya // Otkrytiya. Izobreteniya. 1992. № 26.
12. Elsukov V.K., Semenov S.A., Bondarenko A.V. Analysis of the operation experience and paths for enhancement of TsBR-150U ash collector // Industrial Power Engineering. 1994. № 7. P. 21–23.
13. Elsukov V.K. Effect of electrostatic phenomena on the efficiency of TsBR multicyclone collectors // Industrial Power Engineering. 2009. № 2. P. 13–18.