

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT IN ENERGETICS

УДК 621.3.11.22

Г.В. Кравчук, інженер, ORCID 0000-0003-1319-0029

Відокремлений підрозділ
«Науково-проектний центр розвитку Об'єднаної енергетичної системи України»
Державного підприємства «Національної енергетичної компанії «Укренерго»

ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ПНЕВМАТИЧНОГО ЗОЛОВІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В статті розглянуто існуючі технологічні схеми пневматичного золовідведення теплових електростанцій, які забезпечують сухий стан золи для подальшої її утилізації в різних галузях промисловості.

З метою спрощення і удосконалення схем пневматичного золовідведення та покращення економічних показників пилувугільних котлів ТЕС фахівцями КПП імені Ігоря Сікорського розроблено нову схему відведення золи з-під електрофільтрів та аероживильники. Схема передбачає сухий спосіб видалення золи з-під комірок електрофільтрів димовими газами котла, що відбираються з пневмотранспортної системи димососа та відводяться до рукавного фільтра і газодувною транспортуються в колектор, яким живляться аероживильники. Підтримка температури газів на рівні вище «точки роси» забезпечується підігрівником. Після зрідження в камерах аероживильників золова аеросуміш по трубопроводах направляється в колектор з встановленими в ньому інжекторами та надходить в пилівідокремлюючий циклон, у якому аеросуміш розподіляється на два потоки. Димові гази, очищені від золи, повертаються в направляючий короб електрофільтра, знижуючи температуру на його вході і підвищуючи ККД станції. Відділена зола по трубопроводу відвантажується споживачеві чи направляється на силос для зберігання.

В порівнянні з відомими технологічними схемами систем пневмозоловідведення нова схема відрізняється наступним: безповітряним транспортуванням золи; утилізацією теплоти відхідних димових газів котлів та їх очищенням від пилу до нормованих показників Директиви 2010/75/ EU; підвищенням ККД електрофільтра за рахунок підмішування димових газів на вхід електрофільтра; низькими питомими витратами енергії (відсутність компресора, вентилятора); короткими трубопровідними зв'язками, компактністю; низьким зношенням обладнання (швидкість транспортування часток пилу до 8 м/с).

Запропонована схема транспортування сухої золи з-під електрофільтрів теплових електростанцій дозволить на вугільних ТЕС України підвищити ефективність роботи станцій, максимально утилізувати золу як цінний продукт, отримати прибуток від її збуту, вирішувати проблеми охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: золошлакові відходи, системи пневматичного відведення золи, установки вакуумні, напірні, комбіновані, щільнофазні системи, насоси, повітродувні пристрої.

Вступ. На діючих ТЕС України золу, яка утворилася внаслідок спалювання вугілля, транспортують на золовідвали в основному системами гідрозоловідведення (ГЗВ). Її накопичення на золовідвалах створює проблему землевідведення та негативно впливає на навколишнє середовище [1]. У державах Європейського союзу, США та інших промислово розвинутих країн світу зола ТЕС підлягає обов'язковій утилізації, що дозволяє зменшити викиди забруднюючих речовин та їх негативний вплив на навколишнє середовище.

Матеріал і результати досліджень. Утилізація золи в сухому вигляді є невід'ємною складовою технологічного процесу вугільних ТЕС, що виконують норми та вимоги безпеки виробництва та екології [2-3]. Це, як правило, досягається за рахунок впровадження систем пневматичного відведення золи [4].

© Г.В. Кравчук, 2018

Відомі системи пневмозоловідведення складаються з двох основних вузлів: збору сухої золи та транспортування її на склад. В них застосовуються схеми з аерожолобами, вакуумні, напірні та комбіновані вакуумно-напірні [5], які включають пневмонасоси, електрофільтри, золопроводи, системи забезпечення стисненим повітрям (роторний компресор, адсорбційний осушувач, ресивери, обладнання фільтрації, контролю, керування) та устаткування для відвантаження золи в транспортні засоби.

У вакуумній системі зола вакуум (розрідження 0,1 МПа) створюється паровими ежекторами, водокільцевими вакуум-насосами або високонапірними вентиляторами розміщеними в кінці трубопроводу. Це обмежує концентрацію твердої фази в потоці та дальність транспортування. В такій системі при швидкості потоку в золопроводах біля 20 м/с на транспорт 1 т золи витрачається (50-100) кг повітря, витрата електроенергії в установках з паровими ежекторами складає (25-30) кВт·год, при вакуум-насосах – (10-12) кВт·год [5].

Системи пневмозолотранспорту за напірною схемою поділяють на високо-, середньо- та низьконапірні. Повітрядувні пристрої розміщуються на початку трубопроводу (надлишковий тиск до 0,8 МПа), що дозволяє здійснювати транспортування золоповітряної суміші двошкамерними, пневмокамерними, пневмогвинтовими, струминними або пневмоімпульсними насосами з максимальною концентрацією до 90 кг/кг на відстань до 2000 м [5]. У високонапірних схем слід відмітити технологію з пневмоімпульсними насосами, яка забезпечує транспортування золи в щільній фазі, максимальну масову концентрацію аеросуміші в повітряному потоці при високому тиску, зниження швидкості транспортування (менш 5 м/с), зменшення абразивного зношення трубопроводів та енерговитрат. Дальність транспортування - більше 1000 м (без проміжної станції перекачки).

Комбіновані вакуумно-напірні установки об'єднують в собі особливості обох систем і можуть застосовуватись як перевантажувачі золи з насипу, так і для транспортування її при високих концентраціях на значні відстані.

Основними недоліками відомих систем пневмотранспорту золи є: технологічна складність схем, висока питома витрата енергії на транспортування – (3-5) кВт·год/т пилу; значні витрати повітря –(10-15) м³/т пилу; інтенсивне зношення трубопроводів і установок; велика кількість елементів, що знижує надійність та збільшує вартість обладнання [6].

Мета та завдання. З метою спрощення і удосконалення існуючих систем золовідведення та покращення економічних показників пилувугільних котлів ТЕС фахівцями КПІ імені Ігоря Сікорського розроблено схему відведення золи з-під електрофільтрів наведена на рис.1 [7].

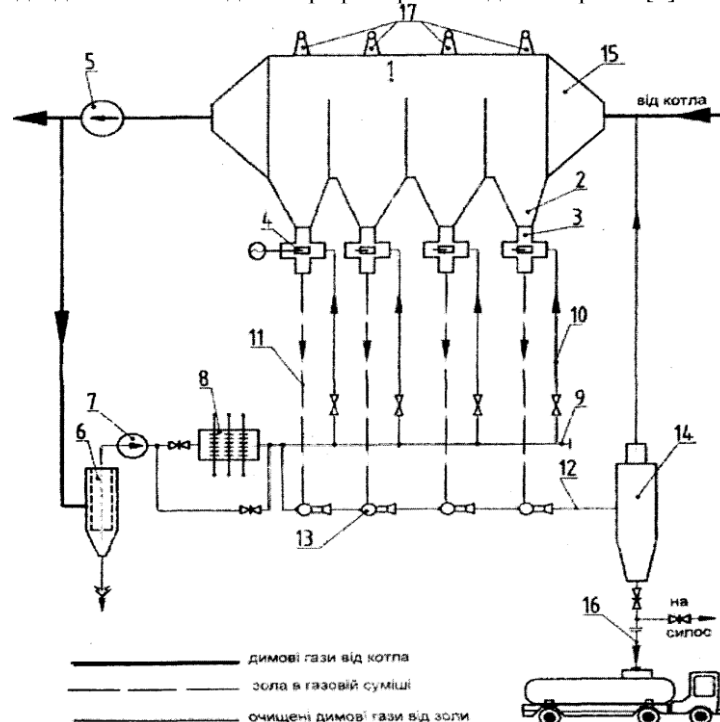


Рисунок 1 – Схема відведення золи з-під електрофільтрів на теплових електростанціях:
 1 – електрофільтр; 2 – збірні комірки електрофільтра; 3 – аероживильники; 4 – затвор; 5 – димосос; 6 – рукавний фільтр; 7 – газодувка; 8 – підігрівач; 9 – колектор очищених та підігрітих димових газів; 10 – трубопровід очищених та підігрітих димових газів; 11 – трубопровід псевдозрідженої зологазової суміші; 12 – колектор псевдозрідженої зологазової суміші; 13 – інжектори; 14 – циклон; 15 – направляючий короб електрофільтра; 16 – трубопровід сухої золи; 17 – рівноміри

Запропонований спосіб сухого видалення золи з димових газів електростанцій реалізується наступним чином:

Під дією сил електричного поля та адгезії частинки золи, які містяться у димових газах котла, осаджуються на електродах електрофільтра 1 і після їх струшування накопичуються в збірних комірках 2, оснащених аероживильниками 3 із сумісними функціями затвору. Частина газів з пневмотранспортної системи димососа 5 відводиться до рукавного фільтра 6 і газодувкою 7 транспортується в колектор 9, яким живляться аероживильники. Підтримка температури газів на рівні вище «точки роси» забезпечується підігрівником 8. Після зрідження в камерах аероживильників золова аеросуміш по трубопроводах 11 направляється в колектор 12 з встановленими в ньому інжекторами 13 та надходить в пиловідокремлюючий циклон 14, у якому вона розподіляється на два потоки. Димові гази, очищені від золи, повертаються в направляючий короб електрофільтра 15, знижуючи температуру на його вході і підвищуючи ККД станції. Відділена зола по трубопроводу 16 відвантажується споживачеві чи направляється на силос для зберігання.

Запропонована система транспортування сухої золи з-під електрофільтрів теплових електростанцій дозволяє з допомогою аероживильників здійснювати надійне збереження та видалення сухої золи з комірок електрофільтрів у зрідженому стані і її подальше корисне використання.

В наведеній схемі доцільно застосовувати аероживильники розробки КПІ імені Ігоря Сікорського для газового вугілля, які є досить простими та компактними та забезпечують неперервне рівномірне розподілення газу в їх камерах [9].

Схема сухого відведення золи суттєво відрізняється від існуючих систем пневмозоловідведення наступним:

1. Безповітряним транспортуванням золи (димовими газами);
2. Утилізацією теплоти відхідних димових газів котлів;
3. Низькою питомою витратою енергії (відсутність компресора, вентилятора);
4. Короткими трубопровідними зв'язками, компактністю;
5. Підвищенням КПД електрофільтра за рахунок підмішування димових газів на вхід електрофільтра;
6. Низьким зношенням обладнання (швидкість транспортування часток пилу до 8 м/с);
7. Додатковим очищенням димових газів від пилу в рукавному фільтрі та циклоні;
8. Зменшенням викидів в атмосферу та платежів за них.

Порівняння деяких економічних показників пневматичних систем відведення золи наведено в табл.1 [10-11].

Таблиця 1 – Порівняння економічних показників систем золовідведення

Показник	Вакуумна	Високонапірна в щільній фазі	Запропонована схема
Тиск, МПа	0,1	< 0,8	< 0,8
Швидкість транспортування золи, м/с	10-20	2-8	до 8
Витрати електроенергії на переміщення тони золи в годину, кВт	135	75-110	75
Концентрація зола/повітря (гази), (кг/кг)	8	90	90
Продуктивність, т/год	100	100	100
Дальність, м	до 200	1000-2000	до 200
Зношення трубопроводу	високий	в основному високий	незначний

Висновки

Запропонована КПІ імені Ігоря Сікорського до впровадження на пиловугільних ТЕС технологічна схема пневмозоловідведення:

- вирішує дві головні проблеми – утилізації димових газів та їх очищення від пилу до нормованих показників Директиви 2010/75/ EU;
- підвищує ККД електростанції;
- дозволяє утилізувати золу як цінний продукт для багатьох галузей промисловості;
- отримати прибуток енергетичній компанії від збуту золи;
- зменшити викиди в навколишнє середовище та екологічні платежі за них.

Список використаної літератури

1. Нечаєва Т.П., Шульженко С.В., Сас Д.П., Парасюк М.В. Фактори екологічного впливу електроенергетичних об'єктів на довкілля. *Проблеми загальної енергетики*. 2008. №2(18). С. 54—60.
2. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. *Official Journal of the European Communities*. L 309/1. 27.11.2001.
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). OJ L 334. 17.12.2010. P. 17.
4. Савицький О.В. Огляд теплової енергетики України. Національний екологічний центр України, 2014. С. 3. URL: [http:// www.nescu.org.ua](http://www.nescu.org.ua) (дата звернення 05.06.2018).
5. Гаврилов Е.І. Паливно-транспортне господарство і золошлаковидалення на ТЕС: навч. посібник для вузів. М.: Енергоатомвидат, 1987. С. 149—154.
6. Электронная библиотека. Технологии. Гравитационный та пневматичний транспорт. URL: <https://studlib.info/tehnologii/983146-gravitacijnyy-ta-pnevmatichnij-transport/> (дата звернення 22.06.2018).
7. Кесова Л.О., Літовкін В.В., Кравчук Г.В., Симоненко М.П. Спосіб видалення золи з електрофільтрів на теплових електростанціях: патент UA №109119 У, МПК: F23J 1/02 (2006.01), F23K(2006.01), B65G 53/04 (2006.01); опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.
8. Точка роси в теплообміннику піролізного котла, 2013. URL: <https://bio.ukrbio.com/ua/articles/3728/> (дата звернення 22.06.2018).
9. Літовкін В.В., Кесова Л.О., Гулієнко В.С. Аероживильник газового вугілля; патент UA №93100 У, МПК (2014.01) F23K 5/00; опубл. 25.09.2014, Бюл. №18.
10. Типи пневматичних систем: особливості. Продукти Clyde Bergemann Group. /Презентація 12.2005/. URL: <http://www.enerms.ru/ru/products/sistemy-zoloshlakoudaleniya.html>.
11. Ash Conveying Systems. Pneumatic Dense-Phase Conveying Systems Mactenn. URL: <http://www.macawber.com/wp-content/uploads/2013/08/ash-conveying-systems.pdf> (дата звернення 22.06.2018).

G. Kravchuk, ingener, ORCID 0000-0003-1319-0029

The separated subdivision is a
"Scientifically-project center of development of the Incorporated power system of Ukraine"
of the State enterprise of the "National power company "Ukrenergo"

TECHNOLOGICAL SCHEMES OF PNEUMATIC ASH REMOVAL OF THERMAL POWER PLANTS

The article covers existing technological schemes of pneumatic ash removal on thermal power plants, which provide a dry state of ash for its further utilization in various industries.

In order to simplify and improve the schemes of pneumatic ash removal and to improve the economic indicators of pulverized-coal fired boilers of TPP (thermal power plants), I.Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute specialists developed a new scheme of ash removal from under the electrofilters and designed new air-assisted feeders. The scheme provides a dry method of ash removal from under the cells of the electrofilters with smoke gases of the boiler that are taken from the pneumatic transport system of the smoke exhauster, discharged to the bag filter and are transported by the gas blower to the collector, which feeds on the air-assisted feeders. Keeping of gas temperature higher than Dew point is provided by the heater. After liquefaction in the cells of air-assisted feeders ash coal-air mixture is driven through pipelines to the collector with installed injectors and comes into dust separating cyclone, in which coal-air mixture is divided into two streams. Flue gases, cleared of ash, return to the guide box of the electrofilter, reducing the temperature at its input and raising efficiency of the plant. The separated ash is shipped through the pipeline to the consumer or sent to silo for storage.

Compared with the known technological schemes of pneumatic ash handling, the new scheme differs as follows: airless transportation of ash; utilization of heat of waste flue gases from boilers and their dust removal to the normalized indicators of the Directive 2010/75/EU; increase in the efficiency of the electrofilter due to mixing of flue gases at the inlet of the electrofilter; low specific energy costs (absence of compressor and fan); short pipeline ties, compactness; low wear and tear of equipment (the speed of dust particles up to 8 m/s).

The scheme of transportation of dry ash from under electrofilters of thermal power plants will allow to increase the efficiency of Ukraine's coal-fired TPPs; maximize the disposal of ash as valuable product, receive profit from its sales and solve problems of environmental protection.

Keywords: ash and slag wastes, systems of pneumatic ash removal, vacuum installations, pressure, combined, dense-phase systems, pumps, blowing devices.

References

1. T. Nechaieva, S. Shulzhenko, D. Sas, M. Parasiuk (2008). Factors of environmental impact of electric energy facilities on the environment. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky - The Problems of General Energy*, 2(18), 54—60 [in Ukrainian].
2. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. Official Journal of the European Communities, L 309/1, 27.11.2001.
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). OJ L 334, 17.12.2010, p. 17.
4. O. Savytskyi Review of Ukraine's thermal energy sector. National Ecological Center of Ukraine, 2014. Pgs.URL: <http://www.necu.org.ua> (Last accessed: 05.06. 2018) [in Ukrainian].
5. E. Havrylov Fuel transport equipment and ash-and-slag removal at the TPPs: Schoolbook for high schools.-M.:Enerhoatomvydav, 1987. -C.149—154 [in Russian].
6. Electronic library, Technologies, Gravitational and pneumatic transport URL: <https://studlib.info/tehnologii/983146-gravitaciyiny-ta-pnevmatichniy-transport/> (Last accessed: 22.06. 2018) [in Russian].
7. L. Kiesova, V. Litovkin, H. Kravchuk, M. Symonenko Method for ash removing from electric filters at thermal power plants, patent UA #109119 U MPK F23J 1/02 (2006.01) F23K (2006.01) B65G 53/04 (2006.01), Bulletin #15 dated of 10th August, 2018 [in Ukrainian].
8. Dew point in the heat exchanger of pyrolysis boiler, 2013, URL: <https://bio.ukrbio.com/ua/articles/3728/> (Last accessed: 22.06. 2018) [in Ukrainian].
9. V. Litovkin, L. Kiesova, V. Hulienko Air-assisted feeder of fiery coal, patent UA №93100 U MPK (2014.01) F23K 5/00, Bulletin #18 of September 25th, 2014 [in Ukrainian].
10. Types of pneumatic transport systems: features. The Clyde Bergemann Group's Products. /Presentation 12.2005/. URL: <http://www.enerms.ru/ru/products/sistemy-zoloshlakoudalenia.html> [in Ukrainian].
11. Ash Conveying Systems. Pneumatic Dense-Phase Conveying Systems Mactenn. URL: <http://www.macawber.com/wp-content/uploads/2013/08/ash-conveying-systems.pdf> (Last accessed: 22.06.2018).

Надійшла 12.12.2018

Received 12.12.2018

УДК 621.315.1

С.В. Казанський, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-6113-2600

В.І. Моссаковський, асист., ORCID 0000-0002-5096-5957

О.В. Мироненко, магістрант, ORCID 0000-0001-9435-9097

М.С. Соколов, магістрант, ORCID 0000-0003-2258-1611

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОКОЛОВИХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

В статті наведено необхідність підвищення експлуатаційної надійності повітряних ліній електропередавання (далі – ПЛ) як одного з основних елементів системи передачі електричної енергії. Розглянуто питання доцільності застосування багатоколових ПЛ. Обґрунтовано доцільність додаткових поглиблених досліджень розподілення електричного та магнітного полів багатоколових ПЛ різної конструкції та класів напруги. Представлено послідовність моделювання розподілення

© С.В. Казанський, В.І. Моссаковський, О.В. Мироненко, М.С. Соколов, 2018