

УДК 620.9

EDN [QUICNQ](#)



<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-II.2023.8.183-189>

Анализ влияния процессов сжигания топлива на реализацию концепции умной пыли при мониторинге ТЭС

Д.И. Ковалев^{1,2,3}, Я.А. Тынченко⁵, В.А. Подоплелова^{1,4*}, Т.П. Черкасова³

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

²Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан

³Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия

⁴Сочинский государственный университет, Сочи, Россия

⁵СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

*E-mail: podoplelovava@mail.ru

Аннотация. В статье представлен анализ влияния процессов сжигания топлива на реализацию концепции умной пыли при производственно-экологическом мониторинге ТЭС. Рассматриваются физические явления, влияющие на поведение умной пыли, при обеспечении информационной надежности производственно-экологического мониторинга тепловых электростанций. Показано, что значимым физическим процессом, реализуемым на ТЭС и оказывающим наибольшее влияние на экологию и, следовательно, требующим мониторинга производственно-экологических показателей с использованием умной пыли, является сжигание подготовленного топлива. Предложена модель физического процесса сжигания топлива тепловой электростанции, на основе которой, следуя концепции умной пыли, сеть из множества миниатюрных устройств (мотов) способна выдать оценку обобщенного критерия качества данного физического процесса по n-1 входам и оценить допустимый диапазон значений n-го параметра.

Ключевые слова: топливо, мониторинг, тепловая электростанция, умная пыль.

Analysis of the influence of fuel combustion processes on the implementation of the concept of smart dust when monitoring thermal power plants

D.I. Kovalev^{1,2,3}, Ya.A. Tynchenko⁵, V.A. Podoplelova^{1,4*}, T.P. Cherkasova³

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

²National Research University "Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization of Agriculture", Tashkent, Uzbekistan

³Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia

⁴Sochi State University, Sochi, Russia

⁵Reshetnev Siberian State University, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: podoplelovava@mail.ru

Abstract. The article presents an analysis of the impact of fuel combustion processes on the implementation of the concept of smart dust in the production and environmental monitoring of thermal power plants. Physical phenomena that affect the behavior of smart dust are considered, while ensuring the information reliability of production and environmental monitoring of thermal power plants. It is shown that a significant physical process implemented at thermal power plants and having the greatest impact on the environment and, therefore, requiring monitoring of production and environmental indicators using smart dust is the combustion of prepared fuel. A model of the physical process of fuel combustion of a thermal power plant is proposed, on the basis of which, following the concept of smart dust, a network of many miniature devices (notes) is able to evaluate the generalized quality criterion of this physical process for n-1 inputs and evaluate the allowable range of values of the n-th parameter.

Keywords: fuel, monitoring, thermal power plant, smart dust.

1. Введение

Применение умной пыли, в первую очередь, предназначено для отслеживания явлений реального мира. Этому направлению посвящен ряд работ [1-5], авторы которых определяют различные области применения умной пыли, включающие экологический мониторинг, отслеживание природных явлений в окружающей среде, анализ антропогенного влияния объектов открытых кибер-физических систем на территории, прилегающие к опасным производственным объектам и т.п.

Ключевая концепция использования умной пыли состоит в том, чтобы развернуть сети из множества миниатюрных устройств (мотов) на открытом пространстве для сбора различных данных и анализа состояния окружающей среды. Моты регистрируют уровень освещенности, вибрации, температуру, химический состав окружающей среды и самоорганизуются в сеть для обмена сообщениями.

Однако при мониторинг труднодоступной среды (например, в [6] предлагается использовать умную пыль для анализа выходящих газов тепловых электростанций, работающих на угле) компоненты умной пыли подвергаются воздействию внешних физических факторов (температура, ветер, вибрации), которые приводят к выходу из строя отдельных мотов, снижая эффективность применения умной пыли или приводя к полному отказу данного информационно-аналитического канала передачи сообщений как между мотами, так и с внешними абонентами, включенными в кибер-физическую систему.

В этой связи, в статье рассматриваются физические явления, влияющие на поведение умной пыли, при обеспечении информационной надежности производственно-экологического мониторинга тепловых электростанций [7]. Значимым физическим процессом, реализуемым на ТЭС и оказывающим наибольшее влияния на экологию и, следовательно, требующих мониторинга производственно-экологических показателей с использованием умной пыли, является сжигание подготовленного топлива. Аспекты, связанные с оценкой качества производственного процесса подготовки топлива на тепловых электростанциях ранее были рассмотрены авторами в [8].

2. Материалы и методы

По виду сжигаемого топлива различают топки для сжигания твердых, жидких и газообразных топлив [9]. Твердое топливо сжигается в слое или в пылевидном состоянии. Слоевые топки делятся на топки с неподвижным, высоко или низкотемпературным кипящим и циркулирующим слоем, пылеугольные – на топки с твердым и жидким шлакоудалением (ТШУ и ЖДУ).

В крупных энергетических котлах применение находят пылеугольные и газомазутные топки, где реализуется факельный способ сжигания топлива.

Способ шлакоудаления выбирают, исходя из реакционных свойств топлива (выход летучих), теплоты сгорания (Q_H^P), физико-химических свойств золы (плавкость, вязкость). Топки с ЖШУ применяют для сжигания малореакционных топлив, а также бурых и каменных углей, имеющих основной состав шлака $[(SiO_2+Al_2O_3)/(Fe_2O_3+CaO+MgO)] < 1$ и температуру нормального жидкого шлакоудаления $t_{н.ж.} \leq 1450$ °С [10].

Надежная работа топок с ТШУ во многом определяется отсутствием шлакования экранных поверхностей. Одним из определяющих в этом отношении параметров является предельное значение теплонапряжения лучистой поверхности экранов в зоне активного горения $q_{л.г.}$, МВт/м². По допускаемому значению $[q_{л.г.}]$ определяют высоту зоны активного горения.

Ограничивается и *уровень температур газов на выходе из активной зоны* как по уровням отсутствия шлакования, так и по устойчивости горения на сниженных нагрузках (до 60%). Рекомендуемые значения определяются справочно. Температуру в общем случае определяют на основании позонного теплового расчета топки [11-13].

Анализ технологического процесса предполагает содержательное описание объекта, который, в свою очередь, может выступать в качестве технологического объекта управления, при постановке задачи автоматизации технологического процесса сжигания топлива [14].

3. Результаты и обсуждение

В качестве объекта рассматривается топочная установка, которая, в зависимости, от вида топлива, способа его сжигания и шлакоудаления, имеет конструктивные особенности, наличия горелок и их ярусности, устройств подачи и дозирования топлива

и воздуха, устройство шлакоудаления и т.д. запорную и регулируемую арматуру [15]. При этом, рассматривая топочную установку, отметим, что явно выраженным элементом топочной установки выступает топка. Процесс сжигания твердого топлива протекает следующим образом. Подготовленное топливо через пылепитатели и воздух через воздухопроводы, соответственно, поступает в горелку.

Горелки служат для ввода в топку топлива и воздуха, последующего их перемешивания и обеспечения устойчивого воспламенения горючей смеси, обеспечивая устойчивое горение топлива. Факел обеспечивает избыток тепловой энергии, рассеиваемой по объему топки. При этом, в зависимости от способа передачи тепла (нагрева поверхности), обеспечивается дальнейший теплообмен (нагрев) других элементов установок ТЭС, например парового котла. В процессе сжигания топлива образуются дымовые газы, которые устремляются вверх по дымоходам и шлак, который устремляется в устье холодной воронки. В зависимости от мощности котельной установки расчетным способом определяется количество и яркость горелок, при этом расположение горелок может быть как встречное, так и однофронтальное.

Таким образом, в топке, в процессе горения топлива происходят теплообменные процессы, сопровождающиеся изменением физических параметров теплового агента, например воды в паровом котле.

Качественные характеристики данного этапа технологического процесса сжигания топлива требуют контроля протекания процесса, что обусловлено измерением параметров технологического процесса, необходимых для оценки количества теплоты (q_j) для производства 1 т. пара, нагрева 1 м³ жидкости и т.д.

В качестве параметров данного процесса могут выступать, расход подаваемого топлива, расхода подаваемого воздуха, среднее содержание кислорода в дымовых газах, температура факела. Также может иметь место оперативная корректировка режимных показателей (включение, отключение ярусов, блоков, отдельных горелок, использование растопочного топлива и т.д.). Таким образом, становится возможным описать функциональную зависимость показателя, отражающего качественные характеристики процесса, через параметры технологического процесса:

$$q_j = f(T_j, C_j, Q_T, Q_B),$$

где, q_j – количество теплоты для производства пара, нагрева жидкости, МДж; T_j – температура факела, $^{\circ}\text{C}$; C_j – среднее содержание кислорода в дымовых газа, $\text{г}/\text{м}^3$; $Q_{\text{т}}$ – расход подаваемого топлива, $\text{т}/\text{ч}$; $Q_{\text{в}}$ – расход подаваемого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Поскольку топка, как и прочие элементы системы топочной установки, основана на объемном принципе действия, то возникает проблема выбора места измерения параметров в объемном пространстве. Также, при ярусном расположении N-горелок, рассеивание тепловой энергии факела, высвобождаемой при горении топлива, имеет иной принцип, в отличие от топки с одной-двумя горелками, что в свою очередь требует дополнительного контроля параметров процесса.

В качестве решения предлагается многоточечный принцип измерения параметров в одной плоскости [7]. Таким образом, такие параметры как температура факела, температура в топке на участке холодного устья, среднее содержание остаточного кислорода в дымовых газах могут быть определены (измерены) для получения объективной информации течения процесса в объекте, имеющем объемный принцип действия.

4. Заключение

Следует пояснить, что для формирования измеряемых значений параметров физического процесса (содержание кислорода и температура) применяется N-версионная технология взаимодействия мотов умной пыли, основанная на получении N-го количества измеряемых данных [16]. Результирующее значение получается путем голосования [17].

Таким образом, предложена модель физического процесса сжигания топлива тепловой электростанции, на основе которой, следуя концепции умной пыли, сеть из множества миниатюрных устройств (мотов) способна выдать оценку обобщенного критерия качества данного физического процесса по n-1 входам и оценить допустимый диапазон значений n-го параметра.

Отметим, что функционирование умной пыли осуществляется в агрессивной среде дымовых (топочных) газов, так как главной функцией ТЭС является получение электрической энергии путем преобразования тепловой энергии, обеспеченной сжиганием подготовленного топлива. В силу конструктивных особенностей оборудования ТЭС, реализуемых регламентов, качества топлива, КПД ТЭС остается

достаточно низким, т.е. не все выделяемое в процессе сжигания тепло совершает полезную работу [18]. Таким образом, побочным продуктом горения, с точки зрения неиспользования остаточного тепла, являются дымовые (топочные) газы. В большинстве реализуемых процессов ТЭС эти газы имеют низкопотенциальное тепло. В процессе сжигания топлива они отводятся через систему дымоходов с возможными схемами теплообмена [19] и рассеиваются в атмосфере, таким образом обеспечивая перемещение мотов, обменивающихся данными по информационно-аналитическому каналу передачи сообщений как между собой, так и с внешними абонентами, включенными в киберфизическую систему.

Список литературы

1. Römer K. Tracking Real-World Phenomena with Smart Dust Conference on Wireless Sensor Networks – First European Workshop – EWSN / K. Römer // Lecture Notes in Computer Science. – 2004. – Vol. 2920. – P. 28-43. – https://www.doi.org/10.1007/978-3-540-24606-0_3
2. Ку Т.Ф. Разработка газовых сенсоров с низким энергопотреблением для беспроводных энергонезависимых сенсорных сетей ("умная пыль") / Т.Ф. Ку // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 11-2(42). – С. 116-122.
3. Magno M. Extended wireless monitoring through intelligent hybrid energy supply / M. Magno, D. Boyle, D. Brunelli, B. O'Flynn, E. Popovici, L. Benini // IEEE Trans. on Ind. Electron. – 2014. – Vol.61(4). – P.1871-1881.
4. Lu J. Towards the world smallest wireless sensor nodes with ultra-low power consumption. / J. Lu, H. Okada, T. Itoh, T. Harada, R. Maeda// IEEE Sensors J. – 2014. – Vol. 14(6). – P. 2035-2041
5. Ishankhodjayev G. Issues of development of intelligent information electric power systems / G. Ishankhodjayev, M. Sultanov, B. Nurmamedov // Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2022. – 2(2). – С. 0251-0263. – <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0251-0263>
6. Kovalev I.V. et al. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2022. – Vol. 981. – С. 032072.
7. Tynchenko Y.A., Saramud M.V., Kovalev I.V. J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1399. – P. 055099.
8. Tynchenko Y.A., Kovalev I.V. J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1515. – P. 052067.

9. Jouhara H. et al. International Journal of Thermofluids. – 2021. – Vol. 9. – P. 100063.
10. Охотин А.С. Термоэлектрические генераторы / А.С. Охотин, А.А. Ефремов, В.С. Охотин, А.С. Пушкарский; под ред. д-ра физ.-мат. наук А.Р. Регеля. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Атомиздат, 1976. – 320 с.
11. Стаханов И.П. Физика термоэмиссионного преобразователя / И.П. Стаханов, В.Е. Черковец. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 207 с.
12. Щербинин П.П. Генераторы прямого преобразования тепловой и химической энергии в электрическую. Т. 6: Термоэмиссионные преобразователи. – Москва, ВИНТИ, 1981. – 242 с.
13. Go D. B. et al. Front. Mech. Eng. – 2017. – Vol. 3. – P. 13.
14. Григорьев В.А. Тепловые и атомные электростанции. Теплоэнергетика и теплотехника. Т. 3. / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
15. Сосуды, работающие под давлением, котлы и трубопроводы. Сборник нормативных документов». – Москва: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2006. – 528 с.
16. Tynchenko Y.A. Improving the Information Reliability of Industrial and Environmental Monitoring of the Burning Fuel Process in Thermal Power Plants / Y.A. Tynchenko, I.V. Kovalev, V.S. Tynchenko // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2020. – 2020. – P. 1-4. – <https://www.doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271166>
17. Gruzenkin D. Recovery blocks method to improve software reliability: comparison with N-version programming / D. Gruzenkin, D. Shavarin // Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2022. – Vol. 2(3). – P. 0127-0138. – <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-3-0127-0138>
18. Бурман А.П. Основы современной энергетики: Современная теплоэнергетика / А.П. Бурман. – М.: Изд-во МЭИ, 2008. – 472 с.
19. Волков Е.П. Силовые устройства электростанций / Е.П. Волков, В.А. Ведяев, В.И. Обрезков. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 280 с.