МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ КОЖУХА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Иванов Роман Андреевич
студент
Научный руководитель: **Смирнов Алексей Владимирович**
к.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»

Аннотация: В данной статье рассматривается одна из проблем автоматизации металлургического производства: мониторинг температуры кожуха доменной печи. Наличие оперативной информации о температурном профиле кожуха обуславливает возможность предиктивной диагностики работы охлаждающих элементов, что существенно сократит риски преждевременного разрушения кирпичной кладки и снизит аварийность работы доменной печи. В статье сформированы общие требования к системе мониторинга, подобрана технология связи между информационными узлами системы.

Ключевые слова: сталелитейная промышленность, доменная печь, кожух доменной печи, Bluetooth Low Energy Mesh, автоматизация производства.

BLAST FURNACE CASING TEMPERATURE MONITORING

Ivanov Roman Andreevich
Scientific adviser: **Smirnov Alexey Vladimirovich**

Abstract: This article discusses one of the problems of automation of metallurgical production: monitoring the temperature of the blast furnace casing. Monitoring should provide complete information about the temperature profile of the blast furnace casing. In the article, general requirements for the monitoring system are formed, the communication technology between the information nodes of the system is selected.

Key words: steel industry, blast furnace, blast furnace casing, Bluetooth Low Energy Mesh, production automation.

По информации ведущих металлургических предприятий Российской Федерации, в рамках реализации проектов построения систем промышленного интернета вещей существует потребность в развитии распределённых систем сбора и обработки данных о технологических параметрах оборудования. В частности, внедрение подобных систем особенно актуально для задач доменной плавки в чёрной металлургии.

Рабочее пространство доменной печи выложено огнеупорной кладкой (футеровкой), которая принимает на себя всё тепловое и механическое воздействие массы рабочего тела во время плавки. Прогорание кладки печи ведёт к её полному выходу из строя и создаёт необходимость в капитальном ремонте печи. В случае подобной поломки прерывается весь технологический процесс выплавки стали на производственной линии, что сопряжено с огромными издержками для предприятия.

Таким образом, исходя из вышеперечисленных факторов, целесообразно снабжать конструкцию доменной печи системой мониторинга температуры рабочей области.

Целью данной работы является определение требований к реализации эффективной системы мониторинга температуры кожуха доменной печи. Особое внимание в статье уделено выбору технологии связи между узлами системы.

Процесс доменного производства сопряжён с выбросом большого объёма пыли, оседающей на поверхности печи. Несмотря на то, что современное доменное производство оснащено аспирационными установками [1], фактор оседания пылевого слоя на оборудовании всё ещё присутствует, что делает невозможным применение бесконтактных методов измерения температуры. Это создаёт необходимость интеграции узлов системы мониторинга непосредственно в конструкцию доменной печи. Поскольку температура самой кладки во время работы слишком высока, а установка и замена самих узлов системы мониторинга при их установке внутри кладки возможна только при её разборе (т. е во время капитального ремонта), целесообразным для размещения узлов системы является кожух печи, окружающий собой кладку.

Для получения полного объёма данных о температуре кожуха необходимо обеспечить мониторинг температуры по всей площади его поверхности. Это создаёт необходимость интеграции в кожух датчиков температуры, которые будут равномерно установлены по всей его поверхности. Размещение и количество этих датчиков рациональным будет выбирать исходя из размещения и количества холодильников системы охлаждения печи, поскольку именно они отвечают за контроль температуры доменной печи и именно от их работы зависит сохранность кладки печи. Таким образом, число датчиков температуры системы мониторинга должно быть равно количеству холодильников. Каждый датчик температуры должен быть расположен при этом в зоне работы соответствующего ему холодильника.

Для расчёта общего количества холодильников и, соответственно, необходимого количества датчиков важны такие характеристики доменной печи как общая площадь поверхности футеровки, объём футеровки и площадь охлаждения системы охлаждения печи.

Общая площадь поверхности футеровки определяется размерами профиля доменной печи и толщиной футеровки печи.

Размеры профилей современных доменных печей приведены на рис. 1. Для расчёта максимальных характеристик брался профиль с наибольшим рабочим объёмом.

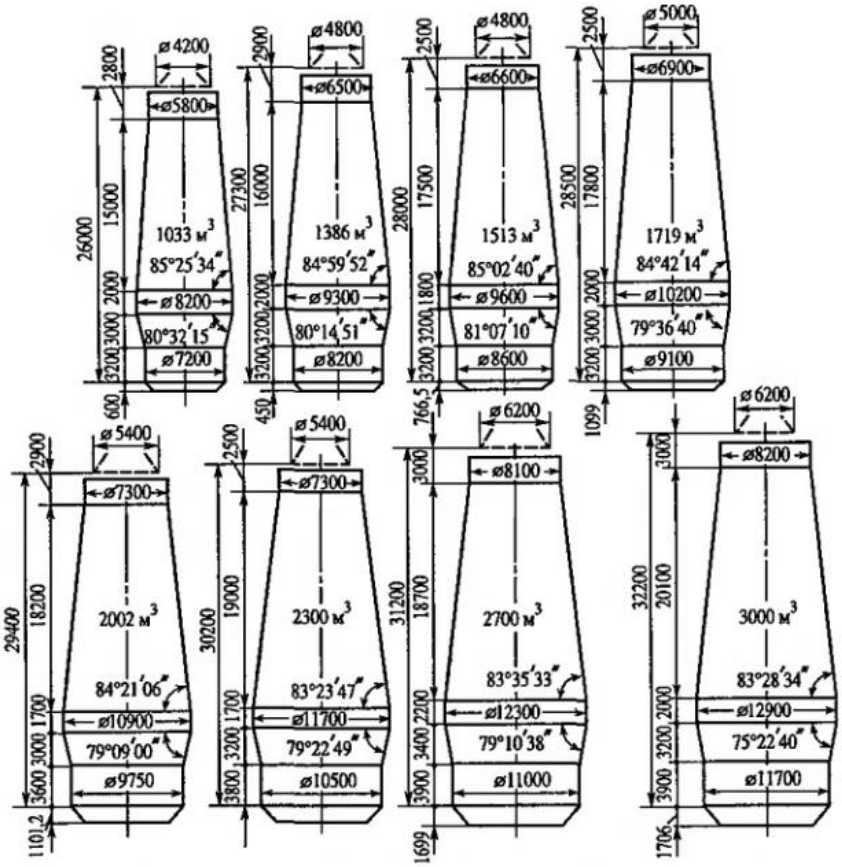


Рис. 1. Профили современных доменных печей (проект Гипромеза) [2, с. 529]

Максимальная толщина футеровки современной доменной печи составляет не более 345 мм [2, с. 519].

Исходя из вышеперечисленных данных можно рассчитать максимально возможную площадь футеровки современной доменной печи без учёта лещади, которая составляет примерно 1154 м2. Объём кладки при этом составит 398 м3.

Учитывая, что минимальная площадь охлаждения системы охлаждения печи в современной доменной печи составляет 2 м2/ м3 [3, с. 95] кладки для системы вертикального типа, примерное общее количество холодильников системы охлаждения и, следовательно, общее минимально необходимое количество датчиков системы, интегрируемых в кожух, составляет примерно 400 единиц.

Немаловажным фактором для системы мониторинга также является верхний предел рабочей температуры. Нормальной общепринятой температурой кожуха считается температура в диапазоне 60-80 °С [2, с. 548]. Учитывая, что датчики системы мониторинга температуры предназначены в

первую очередь для выявления аварийных состояний (перегрева доменной печи), следует взять верхний предел рабочей температуры системы мониторинга с запасом, равным примерно 125 °C.

Рассматривая технологию связи между узлами системы, следует сразу же отказаться от проводных способов передачи данных. Это обусловлено несколькими факторами:

- Большая площадь кожуха доменной печи требует большой общей длины проводных соединений между узлами системы, что слишком затратно с финансовой точки зрения;
- Невозможность реконфигурации подключений между узлами в случае необходимости ввиду статичности проводных соединений;
- Высокие требования к качеству исполнения и материалам проводных соединений ввиду высоких рабочих температур отслеживаемого оборудования.

Таким образом, учитывая все вышеперечисленные факторы, наиболее эффективным для связи между узлами системы будет использование беспроводного соединения по радиоканалу.

Кроме того, утверждения выше также верны и для способа питания датчика – использование проводного способа питания попросту нецелесообразно. Таким образом, наиболее правильным подходом будет обеспечить каждый информационный узел системы автономным источником питания. Учитывая условия эксплуатации системы, наиболее подходящим типом автономного элемента питания является электрическая батарея или аккумулятор.

Наличие в сети большого количества информационных узлов, беспроводной способ связи, питание от автономного источника и критическую важность собираемых данных для функционирования предприятия создают необходимость в некотором стандарте беспроводной связи, отвечающем обозначенным условиям. Среди наиболее важных критериев для выбора стандарта беспроводной связи можно выделить следующие:

- Количество узлов в сети;
- Пропускная способность;
- Дальность связи между узлами сети;
- Возможности маршрутизации;
- Безопасность передачи данных;
- Простота реконфигурации и подключения новых устройств;
- Энергоэффективность.

Минимально необходимое количество узлов в сети определяется количеством датчиков температуры в системе. Как уже было выяснено, современная доменная печь требует наличия минимум 400 датчиков температуры.

Необходимая скорость передачи данных определяется размером полезной нагрузки в передаваемом пакете, периодом опроса датчиков температуры и количеством датчиков в системе. Размер полезной нагрузки в пакете определяется необходимой точностью измерения температуры и диапазоном возможных значений. Учитывая верхний предел рабочей температуры системы в 125 °C и довольно широкий диапазон нормальных температур кожуха (60-80 °C), можно отбросить дробную часть величины измеренной температуры и обойтись целочисленным значением. В таком случае для хранения величины температуры будет достаточно 1 байта информации. Учитывая инертность нагрева конструкции доменной печи, достаточным интервалом опроса датчиков температуры будет принята 1 минута. Таким образом, достаточная скорость передачи данных будет составлять примерно 56 бит/ с.

Дальность связи между узлами системы определяется расстоянием между датчиками температуры, которое составляет примерно 1,7 м при площади охлаждения системы охлаждения в 2 м2/ м3 и толщине футеровки в 345 мм.

Наличие большого объёма металлоконструкций вокруг объекта мониторинга и то, что сам кожух доменной печи состоит из металла, создаёт серьёзные препятствия на пути распространения радиосигнала. Учитывая данный факт, а также относительно близкое расположение узлов системы друг относительно друга и большое их количество, среди требований к возможностям маршрутизации следует выделить возможность построения ячеистой топологии сети (mesh-сети). Наличие такой возможности позволит обеспечить устойчивую и энергоэффективную передачу данных.

Помимо вышеописанных критериев немаловажен вопрос о простоте реконфигурации и подключения новых устройств к сети, что обусловлено необходимостью замены вышедших из строя датчиков температуры и относительно большой площадью объекта мониторинга. Для обеспечения данного аспекта в стандарте сети должен присутствовать хорошо развитый прикладной уровень.

Т.к дальность расположения узлов системы друг относительно друга невелика, а прохождение радиосигнала сквозь и вокруг объекта мониторинга сильно затруднено, нецелесообразно рассматривать технологии передачи данных дальнего радиуса действия (LPWAN) и технологии с повышенным энергопотреблением по типу Wi-Fi. В табл. 1 приведено сравнение наиболее используемых технологий беспроводной связи для интернета вещей по вышеперечисленным критериям.

Таблица 1

Сравнение технологий беспроводной связи [4-9]

	Bluetooth Low Energy Mesh	Zigbee	Thread
Кол-во узлов сети	500-1000	200-300	200-300
Пропускная способность (в условиях здания), кбит/ с	~ 5-7	40-50	40-50
Дальность связи (в условиях здания), м	40-60	30	30
Наличие ячеистой топологии	да	да	да
Безопасность передачи данных	Асимметричное шифрование для генерации и обмена ключами, соединение парных ключей	Опциональное шифрование и аутентификация через установленный код	Обязательное шифрование. Основанная на пароле аутентификация по протоколу DTLS
Наличие прикладного уровня	да	да	нет
Энергоэффектив-ность	высокая	высокая	высокая

Исходя из информации, приведённой в табл. 1, наиболее подходящей технологией беспроводной связи для системы мониторинга температуры является Bluetooth Low Energy Mesh, поскольку она обеспечивает необходимое количество узлов сети, достаточную пропускную способность и обладает наибольшей дальностью связи.

Таким образом, данной работе определены основные требования к системе мониторинга температуры кожуха доменной печи. Рассмотрены различные варианты способа передачи данных между узлами системы. Их анализ показал, что наиболее оптимальным является беспроводной способ передачи данных по технологии Bluetooth Low Energy Mesh.

Список литературы

1. Годовой отчет Группы НЛМК за 2021 год. Охрана окружающей среды. URL: nlmk.com/upload/iblock/882/NLMK_AR2021_RUS_02_Okhrana-okruzhayushchey-sredy.pdf (дата обращения: 16.05.2023).

2. Вегман Е.Ф, Жеребин Б.П, Похвисенов А.Н, Юсфин Ю.С, Курунов И.Ф, Пареньков А.Е, Черноусов П.И. Металлургия чугуна. 3 изд. М.: «Академкнига», 2004. 774 с.

3. Каплун Л.И, Малыгин А.В, Онорин О.П, Пархачев А.В. Устройство и проектирование доменных печей: учебное пособие – Екатеринбург: УрФУ, 2016. 219 с.

4. Как выбрать стандарт связи для сети IoT. URL: habr.com/ru/companies/commandspot/articles/390825/ (дата обращения: 10.05.2023).
5. Выбор беспроводной технологии для IoT: критерии и практические советы. URL: ru.dsr-corporation.com/blog/how-to-choose-iot-protocol-zigbee-vs-ble-vs-thread/ (дата обращения: 10.05.2023).
6. Выбор беспроводной технологии для IoT: критерии и практические советы. URL: ru.dsr-corporation.com/blog/how-to-choose-iot-protocol-zigbee-vs-ble-vs-thread/ (дата обращения: 10.05.2023).
7. ZigBee VS Thread: Технологии построения беспроводных mesh-сетей. URL: www.compel.ru/lib/92808 (дата обращения 10.05.2023).
8. Benchmarking Bluetooth Mesh, Thread, and Zigbee Network Performance. URL: silabs.com/wireless/multiprotocol/mesh-performance (дата обращения: 15.05.2023).
9. Thread vs. Zigbee – what's the difference? URL: e2e.ti.com/blogs_/b/process/posts/thread-vs-zigbee-what-s-the-difference (дата обращения: 15.05.2023).

© Р.А. Иванов, 2023