

УДК 65.011.56

Козырев Арсений Алексеевич,

магистрант кафедры «Технология электрохимических производств»,
ФГБОУ «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: senyakozyrev666@mail.ru

Истомина Алена Андреевна,

к.т.н., доцент кафедры «Технология электрохимических производств»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: alenaist@yandex.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ И КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA

Kozyrev A.A., Istomina A.A.

REALIZATION OF AUTOMATIC CORROSION PROTECTION AND CORROSION MONITORING SYSTEM ON THE BIG DATA BASE

Аннотация. Рассмотрены основы проектирования системы автоматической защиты от коррозии и коррозионного мониторинга для химико-технологических производств, с внедрением технологий больших данных. Описаны технологии работы с большими данными, уровни АСУТП, датчики и исполнительные механизмы системы, а также программное и аппаратное обеспечение для верхнего уровня АСУТП.

Ключевые слова: коррозия, химическая технология, автоматизация технологических процессов, большие данные, мониторинг, защита от коррозии, аппаратное обеспечение.

Abstract. The fundamentals of automatic corrosion protection and corrosion monitoring system design for chemical technology industrial are considered. The technologies of working with big data, the levels of the automated control system, sensors and executive mechanisms of the system, as well as software and hardware for the upper level of automated control system are described.

Keywords: corrosion, chemical technology, automation of technological processes, big data, monitoring, corrosion protection, hardware.

Big Data (большие данные) – это упорядоченные или неупорядоченные массивы информации большого объема. К таким данным, как правило, относится информация размером от 150 Гб/сутки и более. Кроме того, «Big Data» называют также цифровые технологии, которые с этими данными работают [1].

Начиная с 2005 года, с появлением социальных сетей, увеличением числа интернет-сервисов и других источников большой данных возросла потребность в их обращении: сборе, хранении, обработке и анализе. Такие операции над данными выполняются с помощью специальных платформ и программного обеспечения, например, NoSQL Apache Hadoop, Apache Spark, Hive, Airflow и др. Для каждого из этапов обращения данных лучше подходит та или иная платформа. Например, для сбора данных используется Data Lake.

Big Data свойственно 6 отличительных признаков [1]:

- volume (объем) – информация размером от 150 гб в сутки;
- velocity (скорость) – для данных большого объема требуются надежные высокоскоростные каналы передачи данных;
- variety (разнообразиие) – поступающая информация всегда отличается, имеет разные форматы или степень структурированности;
- veracity (достоверность) – данные должны иметь достаточную точность, чтобы принимать на их основании правильные решения;
- variability (вариативность) – поток данных изменчив под воздействием различных факторов;
- value (ценность) – данные могут представлять какую-либо ценность в исследованиях зависимостей, статистике, моделировании и т. п.

Основные процессы, которые происходят с массивами данных, это:

1. Получение данных – автоматизированный или ручной ввод. Данные должны иметь метку времени, быть точными и достоверными, сохранять

целостность. Помимо основного потока данных, источник должен передавать сигналы от самого источника, чтобы отслеживать его программную и аппаратную часть;

2. Преобразование данных – определение достоверности данных и первичный пересчёт, например, ккал в кДж, чтобы лишний раз не нагружать систему;
3. Накопление. Основные показатели здесь – это объем накопителя и скорость записи/чтения;
4. Обработка – наиболее трудоемкая операция – математические расчеты, отчеты и аналитические выводы;
5. Предоставление пользователю выходных данных и визуализация.

Существует множество методов технологий анализа Big Data. Некоторые из них указаны в таблице 1 [2].

Вышеописанные методы и технологии Big Data потенциально могут найти широкое применение в химической технологии, в частности в автоматизации. Химико-технологический процесс включает в себя десятки и сотни единиц оборудования, состояние которого отслеживается с помощью контрольно-измерительных приборов (КИП) и автоматических систем управления технологическими процессами (АСУТП). Большинство современных КИП способны преобразовывать данные о состоянии процесса (температура, расход, давление, уровень и др.) в электрические сигналы, которые обрабатываются средним и верхним уровнем системы АСУТП. К таким приборам относятся термопары, термометры сопротивления, тензометрические уровнемеры, кориолисовые расходомеры и т. п. На основании полученных от приборов КИП данных, система автоматического управления может воздей-

ствовать на технологический процесс с помощью регулирующих органов – задвижек на электроприводе, дозировочных насосов и т. д.



Рисунок 1 – Структура АСУТП

Система АСУТП состоит из трех основных уровней (рис. 1), чаще всего верхний из которых – суперкомпьютер с программным пакетом SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) и HMI (Human-Machine Interface) [3]. При этом HMI может входить в SCADA.

В рамках реализации верхнего уровня используются сервера, станции рабочего и инженерного типа. Весь процесс подразумевает прямое и непосредственное участие операторов, наблюдающих за состоянием и изменениями технологического оборудования с помощью мониторов и графических панелей, что позволяет следить за изменением тех или иных параметров, а затем формировать выводы и своевременно принимать решения.

Таблица 1. Методы и технологии анализа BD

Название	Принцип действия и применение
Краудсорсинг	Анализ большого количества данных группой людей с целью выявления закономерностей. Применяется в случае нецелесообразности создавать сложную систему искусственного интеллекта, то есть для нерегулярного анализа
Смещение и интеграция данных	Приведение разнородной информации к единому формату, конвертирование файлов: извлечение, преобразование, уточнение, дополнение и загрузка
Машинное обучение и нейронные сети	Анализ «нелогичной» для компьютера информации с помощью сетей искусственных нейронов. После машинного обучения нейронные сети способны анализировать информацию. Используется для сортировки и классификации данных и принятия на их основе решений. Нейросети заменяют десятки людей

Предиктивная аналитика и Big Data	Прогнозирование на основе данных. Определение входных переменных, которые влияют на выходную, построение зависимости, на основе которой можно предсказать дальнейшее развитие событий
Имитационное моделирование	Тестирование на реальном объекте чревато рисками. Вместо этого предпочтительно использование имитационной модели для отслеживания поведения при изменении параметров. Моделирование применимо и без Big Data, но чем больше данных, тем точнее модель
Статистический анализ	Получение конкретного статистического результата (чаще в процентах) на основании данных. Чем больше данных, тем достовернее статистика
Data mining	Добыча данных или глубинный анализ – выявление в большом количестве данных полезной информации. Благодаря обнаружению каких-либо сходств и закономерностей, получается новая полезная информация. Data Mining решает следующие задачи: классификация, кластеризация, ассоциация, регрессионный анализ, анализ отклонений
Визуализация	Демонстрация результатов анализа в виде графиков, таблиц, гистограмм, диаграмм и др. с целью удобства восприятия человеком

Значительный потенциал технологий Big Data – применение для верхнего уровня АСУТП коррозионного мониторинга и защиты технологического оборудования от коррозии. Такие системы применяются для мониторинга коррозионных процессов и своевременного предупреждения аварийных ситуаций, вызванных коррозионным износом оборудования.

Коррозионный мониторинг является эффективным средством прогнозирования сроков службы и управления целостностью оборудования и трубопроводов, позволяет своевременно узнать о возможных коррозионных отказах [4]. Рассмотрим также нижний уровень АСУТП защиты от коррозии.

На скорость коррозии влияют различные параметры – уровень кислотности, минерализация, содержание кислорода, сероводорода, углекислого газа; наличие сульфатвосстанавливающих и сульфатредуцирующих бактерий [5].

Основным показателем скорости коррозии является глубинный показатель коррозии (K_{Γ} , мм/год), который рассчитывается как отношение изменения толщины металла (Δh) в единицу времени (τ):

$$K_{\Gamma} = \Delta h / \tau.$$

В реальности же системы коррозионного мониторинга используют следующие формулы [6]:

1. Металлическая потеря, мм:

$$M = \frac{S \cdot P}{1000},$$

где S – линеаризованный сигнал датчика, пропорциональный потере металла;

P – коэффициент датчика, учитывающий геометрические и размерные факторы;

2. Скорость коррозии, мм/год:

$$C = \frac{P \cdot 365 \cdot (S_2 - S_1)}{\Delta T \cdot 1000},$$

где ΔT – промежуток времени между показаниями датчика S_2 и S_1 .

Методы коррозионного мониторинга, используемые в АСУТП, представлены в таблице 2 [4].

Таблица 2. Методы коррозионного мониторинга

Название метода	Описание
Метод электрического сопротивления	Основан на регистрации измерения электрического сопротивления чувствительного элемента (в виде проволоки, ленты или трубки) внутри оборудования, вызванного уменьшением геометрических размеров элемента. Датчик применим в условиях повышенных температур и давления
Метод линейной поляризации	Основан на измерении внешнего тока между электродами, находящимися в электропроводящей коррозионной среде, при приложении к ним разницы потенциалов малой величины. Метод не применим в маловодных (менее 40 %) средах

Для контроля толщины могут быть использованы также ультразвуковые датчики, которые можно устанавливать снаружи.

Контроль уровня кислотности (рН) среды, от которого зависит скорость коррозии, проводится с помощью потенциометрии – измерения ЭДС между индикаторным электродом и электродом сравнения.

Наиболее простой способ определения минерализации – методом кондуктометрии, основанным на измерении электропроводности среды.

Для измерения концентрации кислорода применяются специальные оптические, полярографические или гальванические датчики [7]. Содержание сероводорода можно определить с помощью ионоселективного электрода с мембраной из сульфида серебра (Ag_2S).

Углекислый газ в среде определяется с помощью специальных датчиков, которые работают в периодическом режиме: отбирают объем среды, десорбируют углекислый газ и измеряют его парциальное с пересчетом на температуру (на основании закона Генри) [8].

Анализ биологической активности в виде адгезионных и планктонных форм колоний бактерий осуществляется с помощью биозондов.

Основным рабочим органом (исполнительным механизмом) АСУ защиты от коррозии и коррозионного мониторинга является электропривод выкидной дроссельной задвижки дозирочного насоса (рис. 2). С помощью изменения положения задвижки регулируется расход реагента – ингибитора, нейтрализатора или биоцида в сеть. Кроме этого, расход можно регулировать изменением числа оборотов центробежного насоса.

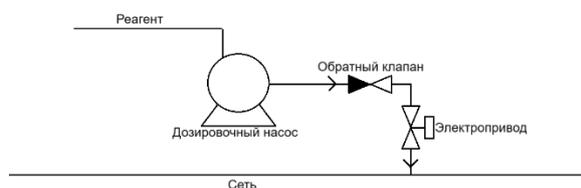


Рисунок 2 – Схема исполнительного механизма

В статье А.А. Гридневой «Автоматизированная система управления защитой технологического оборудования от коррозии переработки минерального сырья» описана АСУ защиты от коррозии, которая выполняет функцию мониторинга, контроля параметров и управления дозирочными насосами [9]. Данные передаются по сети Ethernet, си-

стема реализована на базе операционной системы QNX и программного обеспечения «Статус-4» в SCADA.

Такая система должна иметь:

- способность к развитию системы и интеграции с производственной информационной сетью, допускать расширение объема информационных задач и задач управления;
- не изменять положения исполнительных механизмов во время выхода датчиков/системы из строя;
- возможность отключения блокирующих воздействий оператором во время пусконаладочных и ремонтных работ;
- диагностику микропроцессорных средств в режиме реального времени по желанию оператора, для выявления неисправностей.

В систему входит: датчики, блок оперативного контроля, модуль управления, блок управления дозирующими насосами, дозирующий насос, форсунка и АРМ (автоматизированное рабочее место) [9].

С датчиков сигналы поступают на блок оперативного контроля, с которого после преобразования входящих сигналов поступающие данные передаются на модуль управления и автоматизации. Поступающая информация накапливается и передается на персональный компьютер АРМ на монитор или принтер.

Модуль управления автоматически регулирует подачу ингибитора с помощью дозирочных насосов.

По утверждению автора, система «Статус-4» позволяет создавать собственную базу данных, может обрабатывать «сырые» данные, создавать наборы трендов для реального времени, вести наблюдение за состоянием аппаратуры контроллеров.

Программное решение «Big Data» для реализации верхнего АСУТП защиты от коррозии и коррозионного мониторинга.

Проблемой внедрения ПО с большими данными является то, что многие системы не адаптированы к типам данных, циркулирующих в системах автоматизации промышленных предприятий, а также недостаток универсальных программ, работающих с каждым этапом обращения данных, в частности отечественного производства.

Программное обеспечение, работающее с большими данными, классифицируется в зависимости от этапа обработки этих данных: получение, преобразование, накопление, обработка и визуализация. Систем,

которые могли бы работать с каждым из перечисленных этапов, не так много. Одними из таких являются упомянутая SCADA, а также Huper Historian [10]. Последняя позволяет решать все задачи обработки технологических данных, среди которых: работа с информацией разных типов, подключение к базам данных и формирование запросов, фильтрация данных и статистическая обработка, резервное копирование и др. Huper Historian обладает возможностью работать с облачными хранилищами данных. Благодаря встроенному модулю конфигурирования расчетных задач, ПО подходит для решения прикладных и специфичных задач, в том числе для расчета коррозионных процессов. Для задач мониторинга коррозии хорошо подходит ПО Facility Analytix, которое позволяет обнаруживать неисправности, проводить диагностику и мониторинг.

Для улучшения решения задач конкретного этапа обращения данных можно использовать и другие программы. Для хранения данных, например, подходит Data Lake – программа способна принимать данные разной степени структурированности в режиме реального времени, что важно для непрерывности работы системы.

В решении задач анализа данных могут зарекомендовать себя кластеры Apache Spark и Apache Hadoop, работающие на технологии обработки крупных объемов информации MapReduce [1], основанные на принципе разделения массива информации на части, параллельной обработки каждой части на отдельном узле и финального объединения всех результатов (рис. 3).

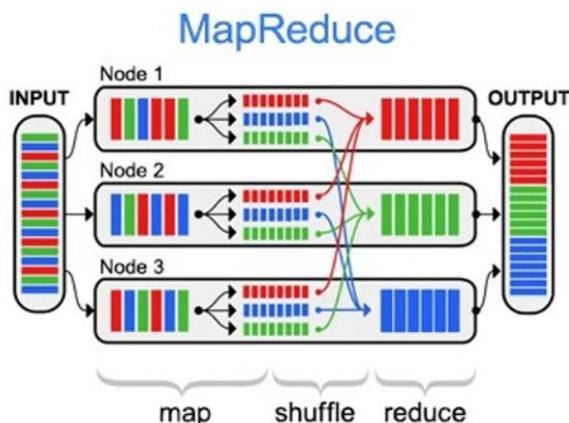


Рисунок 3 – Принцип работы технологии MapReduce

Аппаратное обеспечение АСУТП коррозионного мониторинга для работы с боль-

шими данными.

Электронно-вычислительные машины, используемые в верхнем уровне АСУТП выполняют весьма трудоемкие операции, которые требуют большой вычислительной мощности. Такие системы (суперкомпьютеры) должны обладать высокой скоростью в режиме реального времени и иметь ресурс производительности.

Станции могут включать в себя несколько вычислительных узлов, которые объединены высокоскоростной коммутационной сетью, стандартной сетью Ethernet и оборудованы двумя и более процессорами. Важными характеристиками процессоров являются высокая тактовая частота, количество ядер и потоков, размер кэш-памяти, распределение работы и другие характеристики. В качестве таковых, например, подходят процессоры Intel Xeon E5-2650 v2, которые обладают тактовой частотой до 2,6 ГГц, имеют 8 ядер и кэш-память уровня L3 20 Мб. Intel Xeon E5-2650 v2 использует технологию «Hyper threading», что позволяет «разделять» ядро на две части, таким образом процессор имеет 16 потоков [10]. В них также поддерживается технология «Turbo boost», благодаря чему тактовая частота может увеличиться до 3,4 ГГц на ядро. Поддерживают оперативную память формата DDR 3. Для более масштабных производственных систем может использоваться Intel Xeon Max 9470, который обладает 52 ядрами (104 потока), тактовой частотой до 3,5 ГГц, кэшем уровня L3 105 Мб и поддерживает оперативную память формата DDR 5.

В промышленных суперкомпьютерах для улучшения производительности применяются видеоускорители, например, NVIDIA K20, Intel Data Center GPU Max. Для работы с большим количеством информации в режиме онлайн важно иметь большой размер оперативной памяти (ОЗУ) для хранения временных файлов процессора. Должна быть использована ОЗУ от поколения DDR 3 и выше – с ростом поколения увеличивается частота ОЗУ и размер памяти.

Поскольку при работе с большими данными (от 150 Гб/с) часть из них нужна для последующего использования (в статистике, например), вычислительные станции должны иметь большой объем накопителей от 4 Тб [11]. Наиболее предпочтительны накопители типа SSD, так как обладают высокой скоростью чтения/записи. Однако,

HDD накопители более долговечны и имеют неограниче, поэтому, если их использовать, следует выбирать HDD с высокой скоростью вращения (10000-15000 об/мин). Для большей надежности рекомендуется использовать несколько накопителей объемом 1 Тб.

В роли операционной системы (ОС) рекомендуется использовать ОС QNX [9]. Ее преимущество перед ОС Windows в том, что она способна работать в режиме реального времени и не допускает задержек. Можно использовать и другие ОС, имеющие расширение для работы в режиме реального времени, например, UNIX и Linux.

Суперкомпьютеры обладают большой вычислительной мощностью: имеется проблема избыточного тепловыделения или TDP (Thermal design power) комплектующих. Например, процессор имеет TDP в 350 Вт, что намного больше стандартного процессора для офисных задач. Перегрев комплектующих выше 90-95 °С не допустим, так как это может привести в поломке оборудования. Поэтому системы должны быть оборудованы мощным воздушным или водяным охлажде-

нием из материалов с высокой теплопроводностью (медь, алюминий, графит), и рассчитанными на тепловую нагрузку от всех компонентов.

Технологии больших данных потенциально могут найти широкое применение в системах автоматизации, в том числе в автоматической системе защиты от коррозии и коррозионного мониторинга. Преимущество такой системы будет в эффективности управления химико-технологическими процессами, быстроте принятия решений, упрощении работы, визуализации данных, масштабируемости и многом другом.

В скором будущем структурированная информация, которую можно использовать для оптимизации деятельности и повышения эффективности, будет ценным продуктом на рынке. Но эта информация должна быть определенным образом получена, накоплена, преобразована и представлена в виде, позволяющем формировать стратегию развития компании. Для выполнения этих задач необходимо проводить исследования в области внедрения Big Data в производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Big Data: что к ним относится и как они используются. – 2023. – URL: https://yandex.cloud/ru/docs/glossary/bigdata?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.auth.yandex.cloud%2F (дата обращения 18.09.24);

2. 9 методов и технологий анализа big data. – 2024. – URL: <https://cloud.vk.com/blog/tekhnologii-big-data-kak-analiziruyut-bolshe-dannye> (дата обращения 19.09.24);

3. Типовая структура современных АСУТП. – 2024. – URL: <https://technogroup.com/articles/struktura-sovremennyh-asu-tp-promyshlennyh-predpriyatij/> (дата обращения 21.09.24);

4. **Лобова, П.А.** Коррозионный мониторинг как средство управления целостностью трубопроводов в нефтехимической промышленности. – П.А. Лобова, А.Н. Баранов. – Текст: электронный. – 2014. – № 3. – С. 125-128. – URL: <https://moluch.ru/archive/21/2109/>. Дата публикации: 29 июля 2014;

5. Коррозионный мониторинг. – 2019. – URL: <https://studfile.net/preview/8964451/page:4/> (дата обращения 25.09.24);

6. **Бендов, М. С.** Современные методы мониторинга коррозии / М. С. Бендов. –

Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2010. – № 10 (21). – С. 14-16. – URL: <https://moluch.ru/archive/21/2109/> (дата обращения: 29.09.2024);

7. Типы датчиков для измерения растворенного кислорода. – 2024. – URL: https://www.biotechnologies.ru/catalog/_datchiki_kisloroda_O2.html;

8. Промышленный датчик CO₂ CARBOTEC TR-PT. – 2024. – URL: <https://aquaanalytics-tehnika.ru/centec-carbotec-tr-pt-inline-datchik-uglekislogo-gaza/?ysclid=m1t5mhj51l603986174> (дата обращения: 26.09.24);

9. **Гриднева, А.А.** Автоматизированная система управления защитой технологического оборудования от коррозии переработки минерального сырья / А.А. Гриднева. – Текст: электронный. – 2010. – №12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-zaschitoy-tehnologicheskogo-oborudovaniya-ot-korrozii> (дата обращения: 28.09.24);

10. **Жирков, А.** Исследование средств для работы с Big Data в промышленности / А. Жирков, М. Попов. – Текст: электронный // Современная электроника и технология автоматизации: исследование средств для ра-