



УДК 621.317.4

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Сурняев, sci.sva@yandex.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск

В данной статье рассматриваются основные этапы построения системы контроля магнитных параметров ферромагнитных материалов. Приводится обоснование выбора метода определения магнитных характеристик материала испытуемого образца, а также адаптация данного метода к условиям серийного производства посредством облачных технологий.

Ключевые слова: магнитные измерения, машинное обучение, облачные вычисления.

MAGNETIC PARAMETERS CONTROL SYSTEM FOR FERROMAGNETIC MATERIALS

V.A. Surnyaev

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article uses the main stages of constructing of system for monitoring the magnetic parameters of ferromagnetic materials. The rationale for the choice of method for determining the magnetic characteristics of the material of the test sample is given, as well as the adaptation of this method to the conditions of mass production using cloud technology.

Keywords: magnetic measurements, machine learning, cloud computing.

Изделия из ферромагнитных материалов находят широкое применение в различных областях науки и техники. Магнитные свойства каждого ферромагнитного материала являются его важнейшей эксплуатационной характеристикой. Совершенствование технологических процессов изготовления и контроль магнитных параметров позволяют не только повысить качество конечных изделий, но и дают возможность вносить коррективы на различных стадиях производства с целью увеличения числа кондиционных изделий.

Особую роль в подсистеме управления качеством продукции занимают устройства контроля магнитных параметров материала изделий. В условиях серийного производства требуется как высокая производительность, так и относительно невысокая погрешность (не более $\pm 5\%$). Для решения этой задачи наиболее перспективными являются системы с частично замкнутой магнитной цепью. Применение данных систем значительно сокращает время установки изделия в измерительную позицию, что положительно сказывается на производительности. Однако, по сравнению с системами с полностью замкнутой магнитной цепью, возникают необходимость в определении напряженности магнитного поля [1]. Напряженность магнитного поля внутри образца будет меньше напряженности магнитного поля намагничивающего устройства из-за воздействий целого ряда размагничивающих факторов [2].

Существует несколько подходов для определения напряженности магнитного поля внутри образца с учетом влияния размагничивающих факторов. Одним из таких подходов является использование коэффициента размагничивания [3-5]. Однако данный подход имеет существенные недостатки и значительные трудности в практической реализации. Для образцов произвольной геометрической формы



наиболее широкое применение приходится на методы связанные с определением напряженности магнитного поля на некотором расстоянии от поверхности изделия и последующей экстраполяцией значений на его поверхность [1, 6-9]. К основным недостаткам можно отнести сложности, связанные с позиционированием, ориентацией и геометрическими размерами измерительного преобразователя, что приводит к определенным ограничениям в практическом применении.

На основе анализа вышесказанного, было принято решение по разработке нового метода получения истинной магнитной характеристики материала образца, при котором не требуется измерение напряженности магнитного поля внутри образца. В качестве основы был взят метод натурно-модельного эксперимента [10,11]. Суть метода состоит в подборе магнитной характеристики материала образца в средствах моделирования магнитных цепей, до совпадения расчетной кривой с характеристикой, полученной при натурных измерениях.

Для адаптации данного метода к условиям серийного производства, а значит высокой производительности, было принято решение о модификации данного подхода с использованием одного из методов машинного обучения. Так, например, пакеты моделирующих программ магнитных цепей решают прямую задачу. Определяется геометрия модели и свойства материалов; проводится расчет модели и на выходе, получают значения, которые соответствовали бы натурным измерениям. Наша задача состоит в том, чтобы для каждой из групп испытуемых образцов с одинаковыми геометрическими размерами найти такие математические модели, которые решали бы обратную задачу – по натурным измерениям определяли магнитные свойства материала образца. В качестве обучающей выборки предполагается использовать набор различных магнитных характеристик $B(H)$ и соответствующие им расчетные зависимости магнитного потока от тока $B_{расч}(I)$ в предполагаемом месте натурных измерений.

Для получения расчетных значений магнитного потока существует большое количество программных реализаций направленных на решение различных задач магнитостатики. К ним можно отнести свободно-распространяемый программный комплекс *GMSH&GetDP*. Данный программный комплекс состоит из двух модулей: модуль *GMSH* выполняет функции генератора сеток конечных элементов для предварительно заданной геометрии исследуемого объекта; модуль *GetDP* отвечает за численное решение задачи посредством выбранного решателя [12,13].

После того, как создан обучающий набор данных проводится расчет коэффициентов математической модели. Одним из методов поиска параметров модели является метод наименьших квадратов. Для борьбы с эффектом мультиколлинеарности можно воспользоваться преобразованием исходной матрицы признаков с помощью сингулярного разложения с последующей регуляризацией [14-15]. Полученная математическая модель дает возможность в режиме реального времени определять истинную магнитную характеристику материала образца по измеренным зависимостям магнитного потока от тока.

Стоит отметить, что наиболее вычислительно затратным является сбор обучающего набора данных. Расчет значений магнитного потока может занимать достаточно продолжительное время. Данное время зависит от множества факторов, таких как: геометрические размеры и специфика конструкции моделируемого



объекта; размер сетки конечных элементов; вид решателя; количества расчетных точек для аппроксимации магнитной характеристики и т.д.

Для оптимизации количества и расположения точек аппроксимирующей кривой целесообразно провести анализ второй производной измеренной характеристики и на его основе расположить точки таким образом, чтобы их наибольшее количество приходилось на нелинейные участки.

Другим важным моментом является то, что потребность в вычислительных ресурсах будет постепенно убывать по мере накопления базы математических моделей для различных групп образцов с одинаковыми геометрическими размерами. В этой связи, наиболее актуальным является применение распределенных систем вычислений на базе облачных бессерверных технологий и микросервисной архитектуры [17-19].

Облачные вычисления – это технология распределенной обработки данных, в которой общий пул конфигурируемых вычислительных ресурсов предоставляется пользователю как интернет-сервис. Основным преимуществом данного решения является относительно низкая стоимость. В данном случае нет необходимости закупать оборудование, прокладывать и настраивать сеть, нанимать обслуживающий персонал и т.д.

Еще большего удешевления можно добиться путем применения бессерверных технологий. При практически неограниченных вычислительных мощностях оплата производится только за фактически используемые ресурсы с посекундной тарификацией. При этом не требуется выделять и настраивать кластеры виртуальных машин, а также значительно упрощается масштабирование приложений.

На основании вышеописанной вычислительной платформы методика получения математической модели магнитной характеристики материала образца реализуется не в виде монолитного приложения, а в качестве отдельных микросервисов. Развитие данного подхода в проектировании программного обеспечения во многом способствовало появлению другой перспективной технологии – контейнеризации [21].

Контейнеризация – это легковесная виртуализация и изоляция ресурсов на уровне операционной системы и используется в качестве универсального механизма упаковки приложений.

Существует множество путей для интеграции облачных вычислений с производственной системой контроля параметров ферромагнитных материалов. Одним из таких путей является применение промышленного интернета вещей. Взаимодействие с оборудованием возможно, как посредством платы ввода-вывода, так и через стандартные протоколы для промышленных данных.

Для совершенствования процессов производства также проводится сбор вспомогательной информации на протяжении всего жизненного цикла производства, таких как: температура; давление; скоростные режимы; напряжение; ток; наличие или отсутствие присадок; методов обработки, способы закалки и т.д. На основании собранной информации проводится аналитика с последующей выработкой правил для управляющих воздействий.

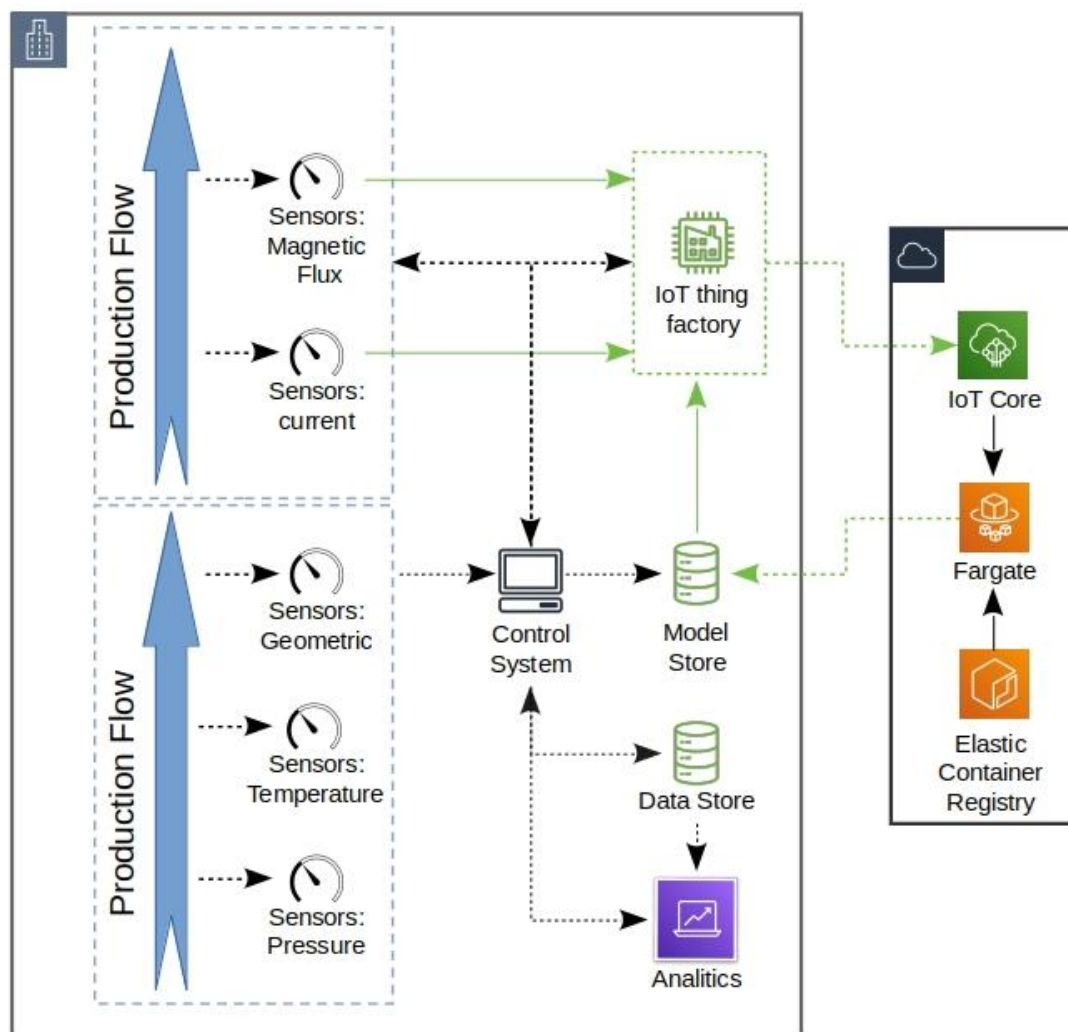


Рис. 1. - Система контроля магнитных параметров ферромагнитных материалов

На рис. 1 представлена схема возможной реализации системы контроля магнитных параметров с использованием облачной экосистемы *Amazon Web Services* [19].

Elastic Container Registry хранит образы контейнеров в которых содержатся необходимые элементы для сбора обучающего набора данных и получения математической модели: программный комплекс *GMSH&GetDP*; вспомогательные файлы для конфигурирования, управления, обработки и передачи полученных данных [22].

Fargate - это вычислительный сервис обеспечивающий запуск контейнеров в облаке [23]. При каждом запуске контейнера происходит передача параметров внутрь контейнера, таких как: геометрические размеры заготовки; натурные измерения магнитного потока и тока. После запуска контейнера происходит выполнение сценария по сбору обучающего набора данных, получения математической модели и записи ее в базу данных (*Model Store*). При этом данный сервис позволяет параллельно запускать практически неограниченное число контейнеров.

Для взаимодействия облачных сервисов с устройствами расположенных непосредственно на предприятии используется сервис *IoT Core* [24]. Данный сервис поддерживает несколько протоколов связи, таких как: *HTTP*; *WebSocket*;



MQTT – упрощенный протокол связи, предназначенный для работы в сетях с низкой пропускной способностью и нестабильным подключением.

По мере продвижения заготовки по производственной линии (*Production Flow*) производятся опрос различных датчиков. После определения геометрических размеров заготовки (*Sensors: Geometric*) проводится поиск необходимой математической модели в базе данных. Если для данных размеров математическая модель отсутствует, то происходит передача параметров в облако для её расчета.

Работы выполнены с использованием оборудования ЦКП «Диагностика и энергоэффективное электрооборудование» ЮРГПУ(НПИ).

Список цитируемой литературы

1. Антонов В.Г. Средства измерения магнитных параметров материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.
2. Аркадьев В. К. Электромагнитные процессы в металлах. Ч. 1. – М.: Госэнергоиздат, 1934. – 230 с.
3. Антонов В. Г., Чечурина Е. Н. Способы экспериментального определения коэффициентов размагничивания ферромагнитных стержней. – Труды метрологических институтов СССР. – Л.: 1974, вып. 152(212). – С. 120 – 129.
4. Гульматова Е.С., Зайтов С.И., Полухин А.Ю., Бранчукова Д.А., Блажко И.О., Чернышова Е.Н. Вычислительный блок устройства измерения ДХН // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», вып. №3, 2019
5. Гульматова Е.С., Зайтов С.И., Полухин А.Ю., Бранчукова Д.А., Блажко И.О., Чернышова Е.Н. Структурная схема устройства измерения вебер-амперных характеристик электротехнических изделий // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», вып. №3, 2019
6. Горбатенко Н. И. Разработка и исследование автоматических устройств производственного контроля переменных магнитов. – Дис.... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1975. – 169 с.
7. Гречихин В.В. Устройства активного контроля магнитных характеристик для систем управления производством изделий из ферромагнитных материалов. – Дис.... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2000. – 245 с.
8. Ланкин М. В. Измерения напряженности магнитного поля на поверхности постоянных магнитов. – Мир измерений. – 2005. - № 12. – С. 8-11.
9. Наракидзе Н.Д. Адаптивные быстродействующие устройства контроля магнитных параметров изделий для систем управления их производством. – Дис.... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2009. – 201 с.
10. Горбатенко Н.И. Натурно-модельные испытания изделий из ферромагнитных материалов. – Н.И. Горбатенко. – Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2001. – 392 с.
11. Гречихин В.В., Январёв С.Г., Лозин О.И., Шайхутдинов Д.В., Методика метрологической оценки степени достоверности результатов натурно-модельных испытаний исполнительных систем на основе материалов с памятью формы. // Научное обозрение. Технические науки. – 2015. - №1. – С. 140-140.
12. Geuzaine C., Remacle J.F. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. International Journal for Numerical Methods in Engineering 79(11), 2009, pp. 1309-13311.
13. GetDP [Электронный ресурс] URL: <http://getdp.info/>
14. Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач метода наименьших квадратов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 232с.
15. Golub G., Loan C. Matrix computations. The Johns Hopkins University Press. 1996, pp – 694.
16. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 335 с.
17. Chee B., Franklin C., Cloud Computing. Technologies and Strategies of the Ubiquitous Data Center. CRC Press. 2010. – pp. 263.
18. Surianarayanan C., Chelliah P. Essentials of Cloud Computing. Springer. 2019. – pp. 309.
19. Ньюмен С., Создание микросервисов. – СПб.: Питер, 2016. – 304 с.



20. Turnbull J., The Docker Book. [Электронный ресурс] URL: <https://dockerbook.com/>
21. Amazon Web Services. [Электронный ресурс] URL: <https://aws.amazon.com/ru/>
22. Amazon Web Services. Amazon Elastic Container Registry (ECR). [Электронный ресурс] URL: <https://aws.amazon.com/ru/ecr/>
23. Amazon Web Services. Fargate. [Электронный ресурс] URL: <https://aws.amazon.com/ru/fargate/>
24. Amazon Web Services. IoT Core. [Электронный ресурс] URL: <https://aws.amazon.com/ru/iot-core/>

© В. А. Сурняев, 2020