

## МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Шайхутдинов Д.В., Гречихин В.В., Боровой В.В.

*ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), Новочеркасск, Россия (436428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: [d.v.shaykhutdinov@gmail.com](mailto:d.v.shaykhutdinov@gmail.com)*

В статье рассматриваются методы контроля магнитных параметров и приборы, их реализующие. Представлены приборы двух типов: для контроля магнитных параметров листовой электротехнической стали и формованных заготовок из нее и приборы для контроля магнитопроводов, имеющих хотя бы одну обмотку. Отличительной особенностью приборов первого типа является оригинальный датчик магнитного потока, интегрированный с намагниченной частью, которая является накладной. Вторым типом приборов обеспечивается контроль магнитных параметров по единственной обмотке, что исключает требование по нанесению измерительной обмотки и снижает время контрольных операций для изделий, уже снабженных рабочей катушкой. Приборы являются основной частью предложенной системы управления технологическим процессом производства электротехнических изделий. Применение разработанных приборов позволяет значительно увеличить скорость выполнения операций контроля при сохранении высокой достоверности и достичь условий, при которых возможен сплошной контроль изделий. Сама система управления является адаптивной и позволяет гибко реагировать на случайные критические изменения в магнитных свойствах заготовок и готовых изделий, возникающие вследствие механических и температурных обработок.

Ключевые слова: система управления, магнитные параметры, электротехническая сталь, магнитопровод, приборы.

## METHODS AND DEVICES EXPRESS CONTROL OF THE MAGNETIC PARAMETERS FOR INDUSTRIAL CONTROL SYSTEMS

Shaykhutdinov D.V., Grechikhin V.V., Borovoy V.V.

*South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russia (436428, Novocherkassk, street Prosvjashenija, 132), e-mail: [d.v.shaykhutdinov@gmail.com](mailto:d.v.shaykhutdinov@gmail.com)*

Control methods of magnetic parameters and devices which realize it are considered in the article. Devices of two types are presented: for controlling magnetic parameters of electrotechnical steel sheet and formed pieces, and devices for controlling magnetic circuits, having at least one winding. The feature of devices of the first type is the original magnetic stream sensor integrated with the overhead magnetized part. The second type of devices provides control of magnetic parameters of the single winding that avoids the requirement for measuring winding placement and reduces time of check operations for products already supplied with the working coil.

Devices are the main part of the control system of technological process of electrotechnical products manufacturing. Using developed devices allows to significantly increase speed of performance of check operations saving high reliability, and to reach conditions, when continuous control of products is possible. The control system is adaptive and responds flexibly to occasional critical changes in magnetic properties of pieces and finished products, arising due to mechanical and temperature processing operations.

Key words: control system, magnetic parameters, electrical steel, magnetic, instruments.

### Введение

В производстве электротехнических изделий небольшой мощности уровень использования стали не всегда оптимален. Много стали уходит в отходы, в самих конструкциях далеко не в полной мере используются ее свойства. Характеристики электротехнических сталей изменяются от партии к партии и даже в самой партии от листа к листу. Обработка стали вызывает ухудшение ее свойств, трудно поддающееся контролю, так как методики измерения магнитных свойств несовершенны [1]. Все эти факторы вынуждают

рассчитывать конструкции с учетом больших запасов.

**Цель работы:** разработка системы управления технологическим процессом производства, реализующей метод активного контроля по магнитным параметрам, полученным с помощью предложенных приборов для контроля электротехнической стали и магнитопроводов.

**Материал и методы исследований:** методы теории автоматического управления, элементов теории планирования эксперимента, теории измерений, математического моделирования с использованием лицензированного пакета прикладных программ *LabVIEW*.

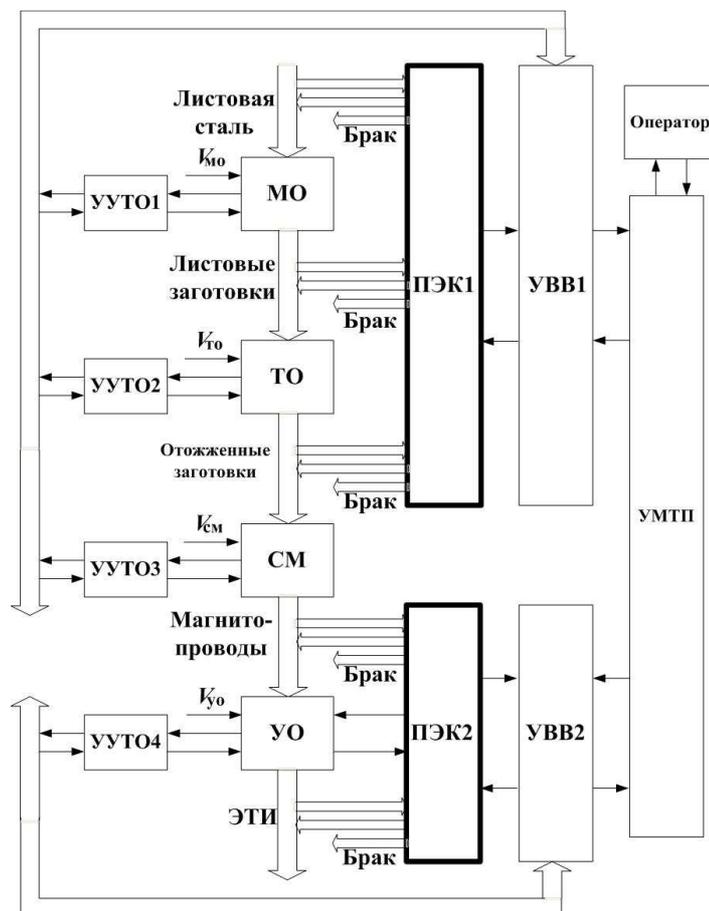
### **Результаты и обсуждение**

Повысить эффективность использования стали в электротехнических изделиях позволяет адаптивный подход к управлению технологическим процессом их изготовления, заключающийся в контроле магнитных свойств заготовок изделий на различных этапах технологического процесса и корректировке его параметров в зависимости от результатов контроля. Его осуществление возможно с помощью автоматизированной подсистемы управления качеством изделий, реализующей метод активного контроля. Применение активного контроля обеспечивает повышение технологической точности путем компенсации влияния случайных факторов на разных стадиях производства.

Для решения проблемы контроля магнитных свойств на различных этапах технологического процесса необходимы быстродействующие приборы контроля магнитных характеристик стали на целых листах, на заготовках, прошедших механическую обработку, на готовых изделиях. Зная магнитные свойства отдельных заготовок, можно проследить за всеми изменениями, которые претерпевает сталь в процессе производства. Приборы контроля должны обеспечивать определение динамических магнитных характеристик в условиях, являющихся рабочими для производимых изделий. Существующие в настоящее время приборы не обеспечивают требуемой точности и производительности при определении наиболее информативных магнитных характеристик заготовок и готовых изделий, что сдерживает широкое внедрение систем управления качеством. В этой связи становится актуальным решение задачи разработки быстродействующих приборов контроля динамических магнитных характеристик заготовок и готовых изделий электротехнической промышленности, позволяющих реализовать эффективные подсистемы управления качеством этих изделий. Использование устройств, предназначенных для экспресс-контроля магнитных параметров как готовых электротехнических изделий, так и отдельных заготовок, в производственном процессе принесет несомненную пользу: уменьшит энергопотребление, вес и габариты электротехнических изделий.

Подсистема управления процессом производства электротехнических изделий (ЭТИ),

реализующая метод активного контроля, приведена на рис. 1. Данная подсистема является составной частью АСУ ТП изготовления ЭТИ и осуществляет управление технологическим процессом производства, направленное на повышение количества годных изделий, по магнитным свойствам на операциях механической (МО), термической обработки (ТО), сборки магнитопроводов (СМ), укладки обмоток (УО). В процессе производства каждая технологическая операция подвергается воздействию случайных факторов ( $V_{MO}$ ,  $V_{TO}$ ,  $V_{CM}$ ,  $V_{YO}$ ).



**Рис. 1. Структурная схема подсистемы управления технологическим процессом производства электротехнических изделий.**

В комплекс технических средств подсистемы входят приборы экспресс-контроля (ПЭК1 – листовой стали, ПЭК2 – магнитопроводов и готовых ЭТИ) магнитных свойств заготовок и изделий, устройства управления технологической операцией (УУТО) (параметрами механической обработки, скорости нагрева и охлаждения, температуры нагрева при термической обработке; параметры оборудования и др.), устройства ввода-вывода (УВВ) информации, устройство моделирования технологического процесса (УМТП).

Подсистема функционирует следующим образом. Прибор экспресс-контроля 1 определяет магнитные характеристики материала листов (не прошедших механическую обработку). Целые листы или их участки, не соответствующие требованиям производства, вырезаются и отправляются в брак. Листы, удовлетворяющие требованиям, отправляются на

механическую обработку. После операций штамповки, рубки, резки то же ПЭК1 сортирует полученные листовые заготовки на  $n$  групп. На основании измеренных параметров УМТП принимает решение направить  $(n-1)$  групп на термическую обработку по восстановлению магнитных свойств, а одна группа составляет брак, не подлежащий восстановлению. На этапе ТО группы подвергаются отжигу, с параметрами, установленными для каждой группы отдельно. После термической обработки производится повторный контроль магнитных параметров отожженных заготовок в ПЭК1, а затем – механическая сборка магнитопроводов. Готовые магнитопроводы проходят контроль качества в ПЭК2, по результатам которого УМТП формирует необходимые параметры для технологической операции УО (число витков, коэффициент заполнения и т.д.). Готовые ЭТИ проходят выходной контроль в ПЭК2.

Важными элементами подсистемы управления (рис. 1) являются приборы экспресс-контроля. Для обеспечения максимальной производительности необходимы ПЭК, которые потребуют осуществления минимума подготовительных операций над испытуемым изделием. В частности, при проведении операции контроля магнитных параметров целых листов, либо формованных заготовок из них, оптимальными будут устройства, не требующие нанесения каких-либо обмоток. Максимальную производительность контроля готовых электротехнических изделий обеспечат ПЭК, не требующие нанесения дополнительных обмоток на изделие, кроме уже имеющихся. Внедрение автоматизированных подсистем управления процессом производства изделий из ЭТС сдерживается тем, что существующие методы и средства испытаний не позволяют с высокой точностью и производительностью определять наиболее информативные характеристики (динамическую петлю гистерезиса – ДПГ – и кривую намагничивания изделия – ДКН) на готовых ЭТИ и на заготовках.

Предлагается прибор для экспресс-испытаний ДПГ и ДКН изделий из листовой электротехнической стали, основанный на использовании оригинального дифференциального преобразователя магнитной индукции (ДПМИ) [3]. В состав прибора (рис. 2) входят: намагничивающее устройство накладного типа, представляющее собой сердечник Н-образной формы с нанесенными на нем намагничивающими катушками, к верхним или нижним концам которого прижимается испытуемое изделие; усилитель переменного напряжения; датчик тока; четыре измерительные катушки, установленные в специальные пазы на четырех полюсах сердечника; усилитель канала индукции; интерфейсная плата *NI PCI-e 6321* [6]; персональный компьютер.

Для обработки полученной информации и принятия решения о соответствии свойств образца предъявляемым требованиям разработана и реализована программа в среде создания виртуальных приборов *LabVIEW 2011*. Алгоритм, заложенный в основу программы

управления испытаниями ферромагнитных изделий для персонального компьютера, позволяет последовательно производить: сначала размагничивание изделия, затем его намагничивание нарастающим магнитным полем, с параллельной фиксацией измерительной информации о магнитном потоке и токе в намагничивающих катушках. Далее производится расчет магнитных параметров изделия: максимальной магнитной индукции и коэрцитивной силы и вывод их на экран. Кроме того, выводится график динамической кривой намагничивания (ДКН).

Интерфейс программы представлен на рисунке 3.



Рис. 2. Прибор для экспресс-контроля электротехнической стали (ПЭК1).

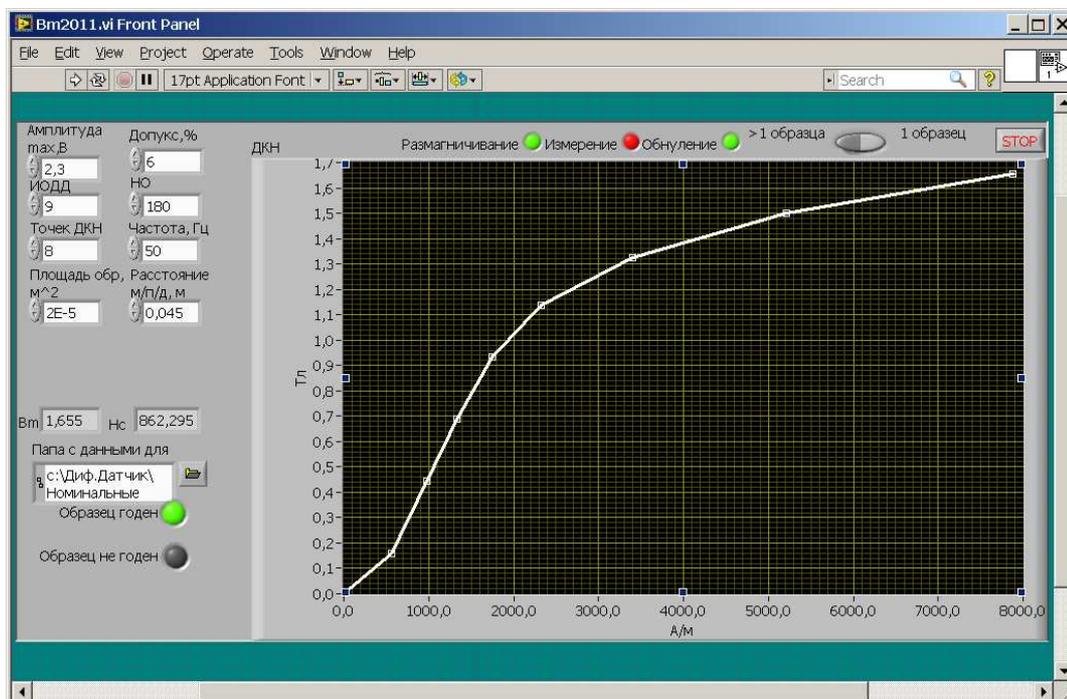


Рис. 3. Интерфейс программы управления испытаниями изделий из листовой стали для персонального компьютера.

Исходными данными, вводимыми оператором, являются (рис. 2): максимальная амплитуда напряжения на выходе усилителя переменного напряжения  $A_{\max}$  «Амплитуда max, В»; количество измеряемых точек ДКН «Точек ДКН»; число витков измерительной катушки

(ИК) первичного преобразователя магнитной индукции «ИОДД»; число витков намагничивающей катушки «НО»; частота перемагничивания (синусоидального сигнала на выходе ЦАП)  $f$  «Частота, Гц»; площадь поперечного сечения испытуемого изделия (ИИ)  $S$  «Площадь обр, м<sup>2</sup>»; длина магнитной линии ИИ  $l$  «Расстояние м/п/д, м»; путь к файлам с номинальными значениями параметров заготовки «Папка с данными для сравнения»; допуск на отличие измеренных параметров заготовки от заданных «Допуск, %».

На основании введенных данных программа производит инициализацию параметров работы модуля АЦП/ЦАП. Основная часть программы выполняется циклически, пока не будут исследованы все образцы. Результатами работы программы являются: значение коэрцитивной силы «Нс» (рис. 3), значения максимальной магнитной индукции «В<sub>т</sub>» (рис. 3), график динамической кривой намагничивания  $B_{\max}(H_{\max})$  – «ДКН» (рис. 3). Кроме того, производятся сравнение значений измеренных параметров заготовки с номинальными значениями, предварительно заложенными в файлы, с учетом допуска на отличие, и принятие решения о ее годности («Образец годен», рис. 3) или негодности («Образец не годен», рис. 3). Протокол контроля сохраняется в файл.

Для контроля магнитных параметров изделий магнитомягких материалов (блок ПЭК2, рис. 1) предлагается метод экспресс-испытания изделий из магнитомягких материалов, основанный на использовании феррорезонансной электрической цепи [2]. На основании данного метода разработан прибор экспресс-контроля готовых ЭТИ с помощью одной обмотки, в состав которого входят: усилитель переменного напряжения; управляемый магазин конденсаторов; датчик тока; делитель напряжения; интерфейсная плата E14-440D, включающая в себя два программируемых усилителя, коммутатор, АЦП, ЦАП, интерфейс цифровых выходов; персональный компьютер [5]. Технические характеристики прибора: производительность без учета подготовительных операций: до 220 шт/ч; погрешность измерения ДКН и ДПГ не более  $\pm 5\%$ .

Разработанные приборы приняты к внедрению в ЗАО «Ирис», в учебный процесс на кафедре «Информационные и измерительные системы и технологии» ЮРГТУ (НПИ).

### Список литературы

1. Казаджан Л.Б. Магнитные свойства электротехнических сталей и сплавов. – М. : ООО «Наука и технологии», 2000. – 224 с.
2. Способ испытания изделий из магнитомягких материалов : патент 2421748 Российская Федерация, МПК G 01 R 33/14 / Шайхутдинов Д.В., Горбатенко Н.И., Ланкин М.В., Боровой

В.В.; заявитель и патентообладатель Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – № 2010108187/28; заявл. 04.03.10; опубл. 20.06.11, Бюл. № 17.

3. Устройство для экспресс-испытания изделий из листовой электротехнической стали : патент 2434237 Российская Федерация, МПК G01R33/00 G01R33/12 / Шайхутдинов Д.В., Горбатенко Н.И., Ланкин М.В., Боровой В.В.; заявитель и патентообладатель Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – № 2010108012/28; заявл. 04.03.10; опубл. 20.11.11, Бюл. № 32.

3. Испытание изделий из листовой электротехнической стали (Испытание ИЛЭТС) : св-во об оф. рег. прогр. для ЭВМ 2010613503 Российская Федерация / Шайхутдинов Д.В., Горбатенко Н.И., Ланкин М.В. [и др.]; Роспатент. – №2010611837; заявл. 05.04.10; зарег. 28.05.10.

5. Испытание изделий из магнитомягких материалов (Испытание ИМММ) : св-во об оф. рег. прогр. для ЭВМ 2010613504 Российская Федерация / Шайхутдинов Д.В., Горбатенко Н.И., Ланкин М.В. [и др.]; Роспатент. – № 2010611938; заявл. 05.04.10; зарег. 28.05.10.

6. *National Instruments Corporation* [Электронный ресурс]. – США: 2012. – Режим доступа: <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/ru/nid/207405>.

***Статья подготовлена по результатам работ при выполнении соглашения № 14.В37.21.1851 от 04.10.2012, проекта № 10.76.2011 в рамках госзадания в части выполнения НИР на 2012 г. и в рамках выполнения показателей по стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики в период с 2012 по 2014 г.***

#### **Рецензенты**

Горбатенко Н.И., д.т.н., профессор, первый проректор, ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск.

Елсуков В.С., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск.