

4. Егоров А. Этапы улучшения качества процессов [Электронный ресурс] / Центр статистических технологий URL: [nickart.spb.ru/clause/text\\_24.php](http://nickart.spb.ru/clause/text_24.php).

5. Ковалев С., Ковалев В. Методы анализа и оптимизации бизнес процессов // Консультант директора. №7. 234 – 2005.

6. Carlos Bou-Llusar J. An empirical assessment of the EFQM Excellence Model: Evaluation as a TQM framework relative to the MBNQA Model [Электронный ресурс] // URL: [iem.unifei.edu.br/turrioni/PosGraduacao/PQM07/pnq\\_aula\\_8\\_e\\_9/Excellence%20model%201.pdf](http://iem.unifei.edu.br/turrioni/PosGraduacao/PQM07/pnq_aula_8_e_9/Excellence%20model%201.pdf).

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН**

*Сыдыков Ж.Б.*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., ведущий эксперт  
кафедры физических методов и приборов контроля качества*

Неразрушающие методы контроля качества (НК) нашли широкое применение в металлургической, металлообрабатывающей, машиностроительной промышленности. Большое значение приобретает задача разработки новых методов контроля, расширяющих область применения средств НК. Относительно новым направлением является ультразвуковая дефектоскопия с использованием электромагнитно-акустических преобразователей ЭМАП [1]. Несмотря на то, что в ГОСТе-147882-86 прописана возможность подключения ЭМАП к стандартному УЗ дефектоскопу, широкого распространения пока практической дефектоскопии этот метод не получил.

Главными причинами этого является малый коэффициент преобразования, по сравнению с пьезоэлектрическим преобразователем и отсутствие в литературе данных по характеристикам акустического поля, создаваемого ЭМАП в металлах. Но у ЭМАП есть очень существенное преимущество перед ПЭП – бесконтактность, что позволяет контролировать изделия с шероховатой поверхностью, а именно литьё. Во многих случаях зачистка поверхности до Rz40 невозможно.

Поэтому проблема повышения эффективности ЭМАП и исследование формы его акустического поля является актуальной.

Изучением этих вопросов занимается разные исследователи [2,3,4,5]. Имеется много информации о различных конструкциях

магнитных систем ЭМАП, способов изготовления и размещения рабочих обмоток, схем питания преобразователей [6,7,8,9,10].

За основу конструкции преобразователя принята магнитная система по [11], обеспечивающая при небольших габаритах достаточную напряженность магнитного поля в изделии и замкнутость магнитного потока, обеспечивающую безопасность работы с ЭМАП. Схема преобразователя приведена на рисунке 1.

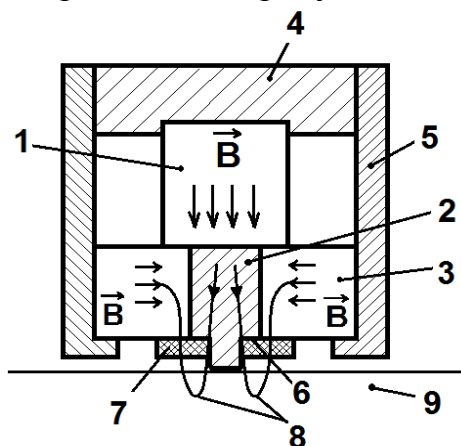


Рис.1. Схема ЭМА преобразователя

Магнитная система содержит постоянный магнит в форме цилиндра с направлением намагничивания вдоль оси (1), концентратор из них магнитномягкого металла (2), дополнительный магнит (3) с направлением намагничивания по нормали к боковым граням концентратора и с обеспечением одинаковой полярности всех примыкающих к концентратору полюсов, полюсный наконечник(4), расположенный на противоположном от концентратора торце магнита, магнитопровод (5), расположенный между дополнительным магнитом и полюсным наконечником, индуктор (7) для возбуждения и приёма продольных волн. В отличие от [11], на рабочем конце концентратора выполнена проточка (6), диаметр которой меньше внешнего диаметра концентратора, а катушка индуктора (7) для возбуждения и приёма продольных волн располагается между магнитопроводом и концентратором, причём внутренний диаметр катушки равен диаметру проточки, а внешний диаметр катушки находится между внутренним диаметром магнитопровода и внешним диаметром концентратора.

Так как намагниченность дополнительного магнита нормальна к внешней поверхности концентратора, силовые линии магнитного поля основного магнита (2) и дополнительного магнита (3) будут иметь встречное направление (8) и будут выпираться контролируемое изделие

(9). Максимальная концентрация силовых линий имеет место на границе между боковой поверхностью концентратора и внутренней поверхностью дополнительного магнита.

Максимальная эффективность преобразования при излучении и приёме продольных волн будет иметь место в том случае, если витки катушки индуктора будут охватывать зону максимальной концентрации силовых линий, т.е. внутренний диаметр катушки должен быть меньше внешнего диаметра концентратора, а внешний диаметр катушки должен быть больше внешнего диаметра концентратора.

Для снятия диаграмм направленности был изготовлен образец из алюминия в виде набора полуцилиндров радиусами 30, 50, 70, 90 мм. ЭМАП крепился в центре окружности через прокладки различной толщины (рис. 2).

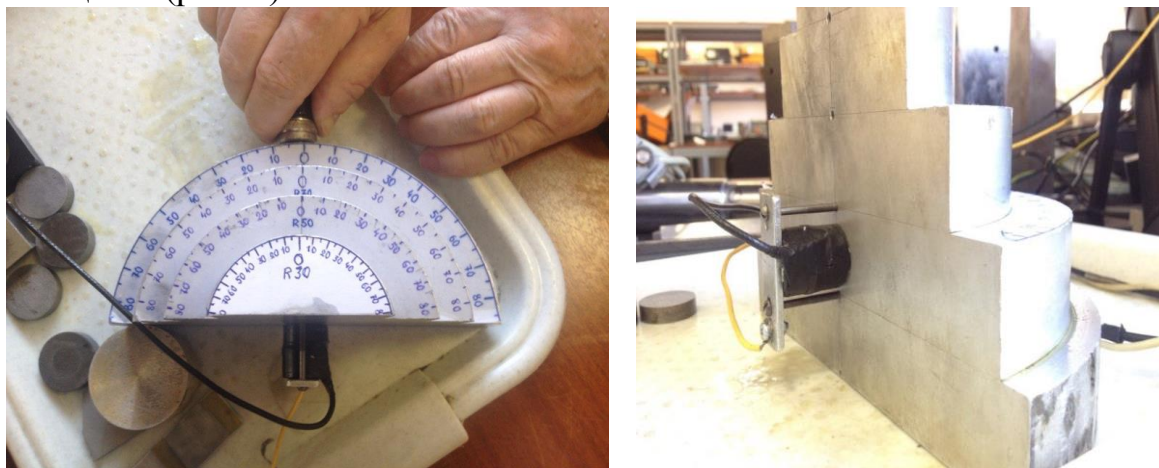


Рис.2. Образец для снятия диаграмм направленности

Распределение давления в пучке, создаваемом преобразователем, в зависимости от угла отклонения от оси измерялось стандартным прямым преобразователем.

ЭМАП и ПЭП были настроены на частоту 2,5 МГц. Для измерений использовался стандартный дефектоскоп УСД-60. В режиме измерения ЭМАП подключался к гнезду генератора «выход», а приёмный ПЭП подключался к гнезду «входа». В режиме приёма ПЭП подключался к гнезду генератора «выход», а ЭМАП – к гнезду «входа». Катушка индуктора в режиме излучения имела 17 витков, в режиме приёма – 200 витков. Элементы магнитной системы имеют следующие размеры: основной магнит (1) – цилиндр 10x15 мм; дополнительный кольцевой магнит (3) – наружный диаметр -15 мм; внутренний диаметр – 7 мм; толщина 3,5 мм; концентратор (2) – 7x6,5 мм (рис. 3).



Рис.3. ЭМА преобразователь

Для проверки эффективности работы ЭМАП были экспериментально исследованы диаграммы направленности в режиме излучения (рис.4) и в режиме приёма (рис.5).

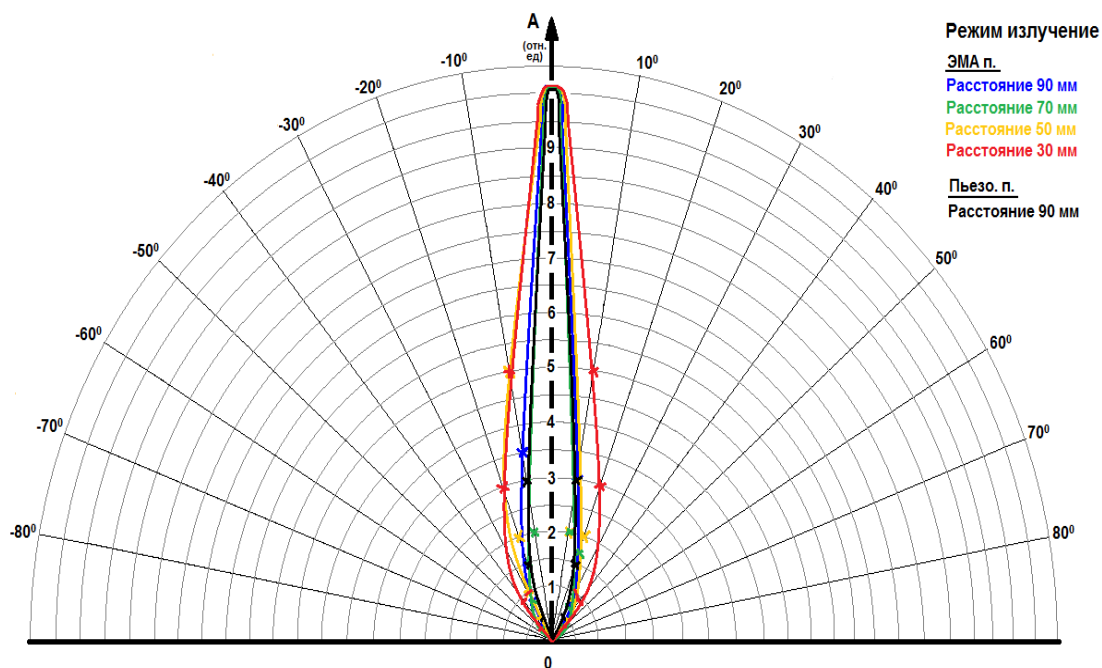


Рис.4. Диаграммы направленности в режиме излучения.

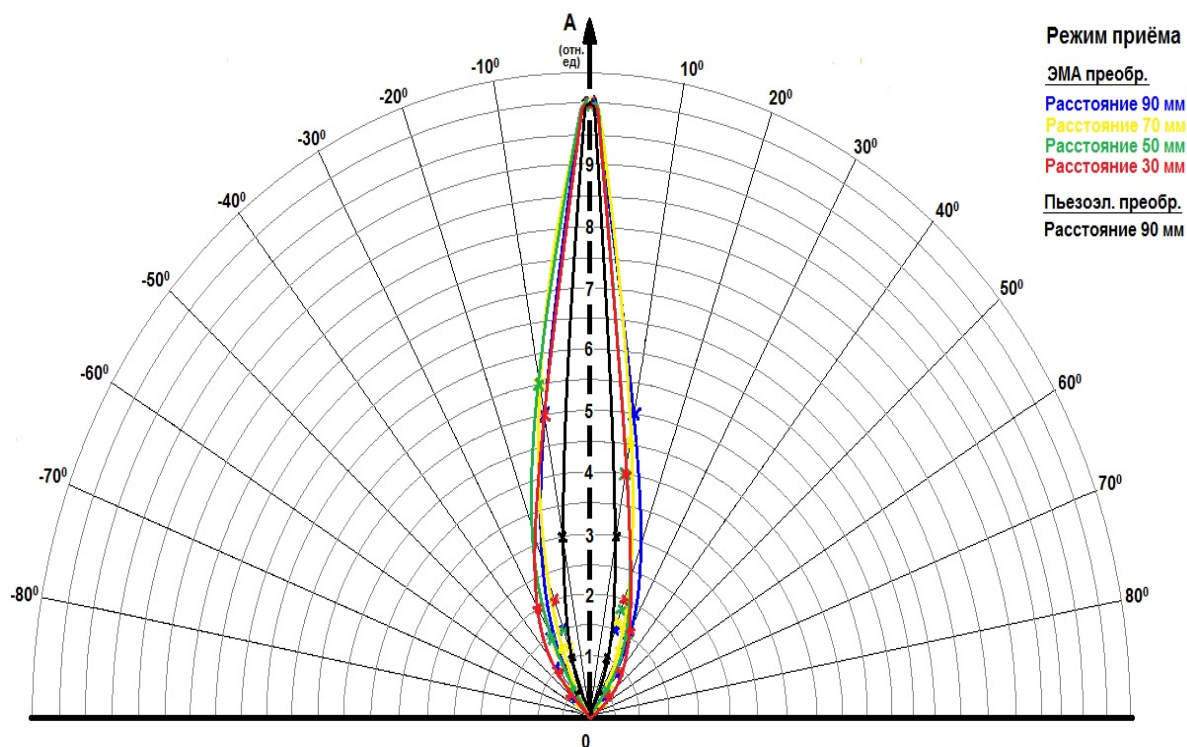


Рис.5. Диаграммы направленности в режиме приёма.

Полученные диаграммы сравнивались с диаграммами направленности стандартного пьезоэлектрического преобразователя диаметром 12 мм на частоту 2,5 МГц. Анализ показал, что диаграммы направленности ЭМАП с приведенными размерами имеет диаграмму направленности, близкую к диаграмме направленности ПЭП с диаметром пластин 12 мм.

Зависимость эффективности преобразования от величин зазора между изделием и преобразователя в режимах излучения и приёма приведена на Рис.6.

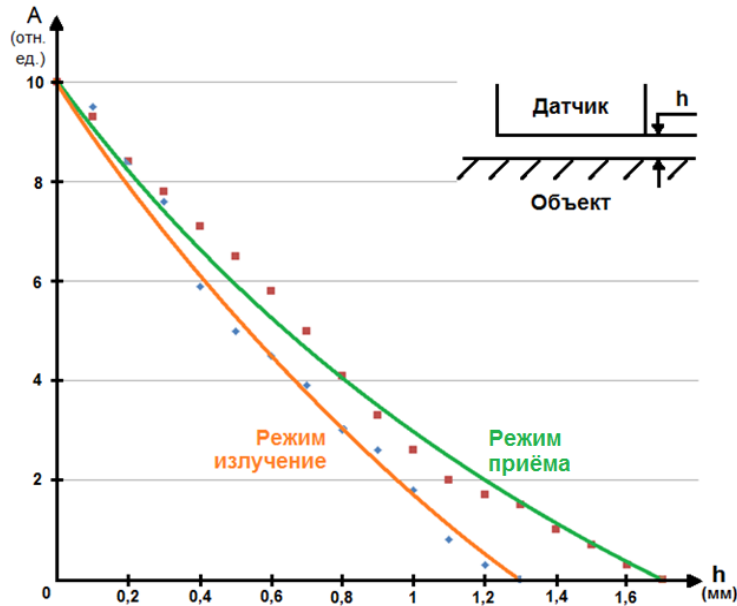


Рис.6. Зависимость амплитуды  $A$  от величины зазора  $h$ .

Анализ показывает, что преобразователь работоспособен с зазорами до 1 мм.

#### Заключение

В результате проведённых исследований разработана конструкция магнитной системы ЭМА преобразователя, обеспечивающая более высокую эффективность преобразования по сравнению с известными конструкциями. Показано также:

1. Расположение витков индуктора в зоне максимальной концентрации силовых линий магнитного поля повышает эффективность преобразования.

2. Катушка индуктора для возбуждения и приёма продольных волн должна иметь разное количество витков для режимов излучения и приёма.

3. Диаграмма направленности ЭМАП с приведёнными размерами близка к диаграмме направленности ПЭП с диаметром пластины 12 мм.

Результаты работы использованы при разработке системы контроля качества стальной авиационной подвески, изготавливаемой методом литья и имеющей шероховатую поверхность.

## Список информационных источников

1. Зацепин А.Ф. Введение в физику акустического контроля: конспект лекций / А.Ф. Зацепин. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. – 79 с.
2. Алешин Н.П. Ультразвуковая дефектоскопия: справ. пособие / Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев. – Минск : Высш. шк., 1987. – 271 с.
3. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль: практ. пособие. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; под ред. В.В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1991. – 283 с.
4. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. – М. : Машиностроение, 1981. – 240 с.
5. Крауткремер Й. Ультразвуковой контроль материалов: справочник / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. – М. : Metallurgia, 1991. – 751 с.
6. [http://www1.fips.ru/fips\\_serv1/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet)
7. Ульянов Г.К. «О применении неконтактных магнитно-акустических искателей в ультразвуковой дефектоскопии».
8. Буденков Б.А., Буденков Г.А., Шаповалов П.Ф., Попова Л.А. «Повышение коэффициента преобразование при электромагнитном способе возбуждения и приёма упругих колебаний». «Дефектоскопия», №6, 1969, стр. 108.
9. Сазонов Ю.И., Шкарлет Ю.М. «Исследование бесконтактных методов возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний», «Дефектоскопия», №15, 1969, стр.1.
10. Самокрутов А.А. и др. «Исследование анизотропии проката и её влияния на результаты акустических измерений». Контроль. Диагностика, 2003, №11, с.14.
11. Муравьев В.В. «К расчету параметров системы намагничивания электромагнитно-акустического преобразователя»./ В.В.Муравьев, В.А.Стрижак, Е.Н.Балобанов// «Интеллектуальные системы в производстве». 2011, №1(17), с.197-205
12. Патент RU2271876C1, 20.03.2006
13. Патент RU2300763C1, 10.06.2007
14. Патент RU2247978C1, 10.03.2005
15. Патент WO9812556A1, 26.03.1998
16. Заявка: 2007125800/28, от 10.07.2007, Дата начала срока действия патента: 10.07.2007, Дата прекращения действия патента: 11.07.2010

17. Электромагнитно-акустический преобразователь: патент на полезную модель №127931 от 23.11.2012. Российская Федерация: МПК G01N29/04 (2006.01) / В.В.Муравьев, О.В.Муравьева, В.А.Стрижак, А.В.Прякин, Е.Н.Балобанов, Л.В.Волнова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова. №2012150262/20; заявл.23.11.2012; опублик. 10.05.2013, 3с. ил.

## **ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ДОКУМЕНТАЦИИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Тилекматов И.Э.*

*Томский политехнический университет, г.Томск*

*Научный руководитель: Мойзес Б.Б., к.т.н., доцент кафедры  
физических методов и приборов контроля качества*

В настоящее время всё большую популярность приобретает концепция менеджмента организацией, названная термином «Бережливое производство», ориентированная на создание ценности, привлекательной для потребителя и формирования непрерывного потока создания ценности с охватом всех процессов организации и их постоянного совершенствования через устранение всех видов потерь и вовлечения персонала [1].

Инструменты бережливого производства вызывают интерес у многих российских организаций, занимающихся производством различных товаров и услуг, которые применяют их в своей деятельности и число таких организаций с каждым годом только растет.

Именно возрастающий интерес к концепции бережливого производства и внедрение инструментов бережливого менеджмента организаций побудило к выпуску ряда стандартов серии «Бережливое производство» и созданию системы добровольной сертификации по системам менеджмента бережливого производства [2].

Система менеджмента бережливого производства (СМБП) – это система менеджмента организацией на основе принципов бережливого производства. Построение системы менеджмента бережливого производства проводится организацией с целью повышения удовлетворенности потребителей и демонстрации динамики повышения эффективности деятельности по созданию ценности для потребителей.

Основными требованиями стандарта ГОСТ Р 56404 – 2015. Бережливое производство. Требования к системам менеджмента. являются наличие документированной информации политики и целей в