

## УСТРОЙСТВА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СЫПУЧИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Эсауленко В. А.*

*Донецкий государственный технический университет*

*The article examines the problem of use electromagnetic fields in the technological systems and means of transport with direct influence of electromagnetic field on the pouring ferromagnetic materials. There are two tables of classified methods and devices of use electromagnetic fields in the foundry industry and in production of ferrites. There were fixed the profitable directions of elaborations.*

**ВВЕДЕНИЕ.** Устройства с электромагнитными полями различной пространственно-временной конфигурации находят все возрастающее применение в металлургии для перемешивания, дозирования и транспортирования жидких металлов и ферромагнитных порошков, ввода ферромагнитных дисперсных материалов в струю жидкого металла и т. д. [1,2,3]; в литейном производстве для намагничивания, разгона и уплотнения ферромагнитного формовочного материала, удержания магнитных форм, обработки поверхности литья ферромагнитным абразивом и т. д. [4,5,6]; в транспорте и машиностроении для перемещения и разделения сыпучих ферромагнитных материалов и деталей, для распознавания, ориентирования, захвата, кантования, обслуживания сборочных операций, удаления стружки и т. д. [7,8,9]; в производстве ферритовых изделий для создания анизотропии магнитных свойств, увеличения плотности и магнитной энергии образцов, создания текстуры, увеличения выхода годных изделий и т. д. [10,11,12,13].

**ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В настоящей работе предпринята попытка анализа патентов, авторских свидетельств и публикаций по проблеме применения электромагнитных полей в технологических и транспортных системах с непосредственным воздействием электромагнитного поля на сыпучие ферромагнитные материалы в литейном производстве и в производстве ферритовых изделий с целью классификации рассмотренных способов и устройств, выбора наиболее перспективных направлений в этой области и рассмотрения опыта реализации некоторых из них в Донецком государственном техническом университете (ДонГТУ).

**ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.** В литейном производстве основными формовочными материалами являются песчано-глинистые смеси, однако в последнее время большую конкуренцию им оказывают различные ферромагнитные формовочные материалы, которые по ряду показателей превосходят своих предшественников. Формовочные материалы оцениваются по пластичности, прочности, газопроницаемости, податливости, огнеупорности, выбиваемости, шероховатости поверхности и т. д.

В качестве ферромагнитных формовочных материалов используются магнитномягкие и магнитнотвердые порошкообразные вещества. Применение этих материалов позволяет значительно улучшить качество поверхности получаемых изделий, повысить производительность труда, автоматизировать основные операции литейного производства и улучшить санитарно-гигиенические условия работы в литейных цехах.

Материалы проведенных патентно-лицензионных исследований свидетельствуют о повышении интереса к электромагнитным методам и устройствам магнитной формовки в течение последних лет. На рис.1 представлена классификационная таблица электромагнитных устройств, применяемых в литейном производстве, в которой классификация выполнена по различным технологическим операциям формовки с различными формовочными материалами.

Как следует из рис.1, все изобретения можно разделить на способы и устройства, использующие электромагнитные поля в системах с неферромагнитными формовочными материалами и в системах с ферромагнитными материалами двух типов: магнитномягкими и магнитнотвердыми.

В устройствах с неферромагнитными формовочными материалами (3 авт. свид. СССР) магнитное поле используется или для создания электромагнитных сил, которые через диск или диафрагму уплотняют формовочный материал, или для регулирования положения ферромагнитных шаров с последующим уплотнением материала за счет внешних механических сил. Общим для этих устройств является то, что в них электромагнитные поля применяются только для уплотнения традиционных песчано-глинистых формовочных материалов.

Два патента ФРГ и патент Румынии посвящены магнитной формовке с использованием магнитномягкого формовочного материала, который представляет собой железный порошок с диаметром частиц порядка 0,1-0,2мм. Постоянное магнитное поле опок поддерживают до тех пор, пока форму не зальют металлом и не получат отливку. Результаты работы двенадцатипозиционной полуавтоматической установки карусельного

типа с производительностью 200 форм/час, использующей магнитномягкий формовочный материал, приведены в [4].

Применение магнитномягких формовочных материалов по сравнению с традиционными позволило автоматизировать процесс получения отливок, повысить чистоту поверхности изделий и улучшить санитарно-гигиенические условия работы в литейном цехе. Однако относительно большие энергозатраты, ограничение максимальных размеров формы (400\*400мм.), возможное разрушение отпечатков при сборке полуформ из-за взаимодействия магнитных полей катушек ограничивают широкое распространение этого способа магнитной формовки.

Использование магнитнотвердых формовочных материалов позволяет устранить недостатки магнитной формовки с магнитномягкими материалами и в этом направлении появилось большое число патентов и авторских свидетельств.

Только одна работа посвящена устройству для намагничивания магнитнотвердого формовочного материала, в остальных 17 патентах и авторских свидетельствах операции намагничивания, разгона и уплотнения материала совмещены в одном устройстве. Причем различают устройства с одним магнетельным соленоидом, с системой соосно расположенных магнетельных соленоидов и механические устройства разгона с магнитным удержанием материала на роторе.

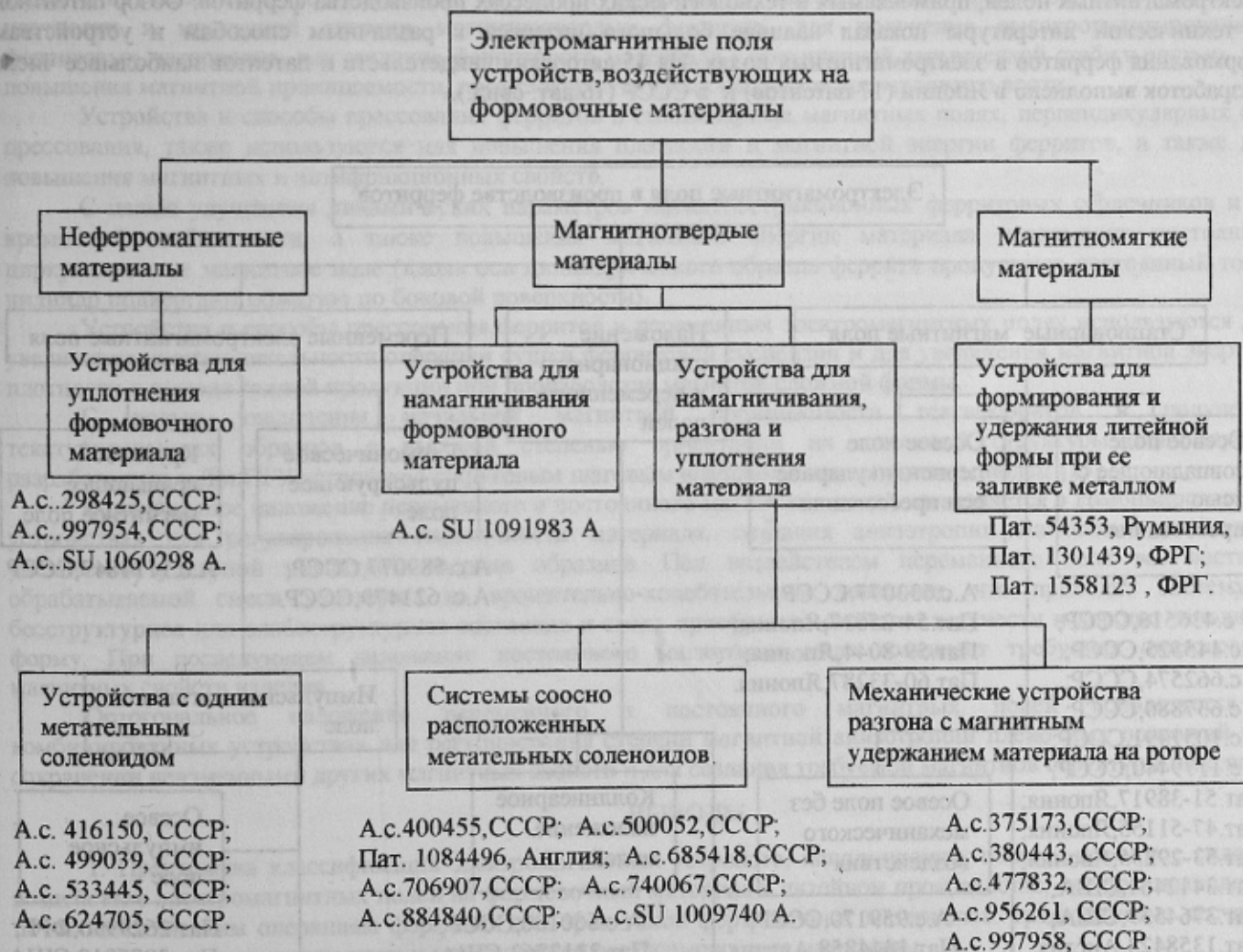


Рисунок 1-Классификация электромагнитных устройств для реализации различных технологических процессов в литейном производстве

Устройства с одним магнетельным соленоидом можно спроектировать так, чтобы в процессе разгона порций материала магнитное поле магнетельного соленоида было бы достаточным для намагничивания магнитнотвердого формовочного материала до характеристик предельной петли гистерезиса. При этом будет обеспечена необходимая сила сцепления между частицами материала и требуемая прочность стенок формы. Последняя характеристика зависит также и от скорости вылета порций, оказывающей влияние на плотность набивки материала в опоке.



Устройства, содержащие системы соосно расположенных металлических соленоидов, позволяют разгонять формовочный материал до более высоких скоростей и этим обеспечивают более плотную набивку литейной формы.

В механических устройствах разгона с магнитным удержанием материала на роторе разгон формовочного ферромагнитного материала осуществляется за счет механической энергии вращающегося колеса, барабана и т. д. С помощью магнитного поля материал удерживается на теле вращения и в нужный момент отделяется от него. Этот класс устройств обладает лучшими техническими характеристиками по сравнению с обычными механическими установками ротационного типа, применяемыми для разгона, однако не лишен их основного недостатка, связанного с быстрым износом дробеметного колеса. Кроме того, в рассматриваемом классе устройств имеется подвод питающего тока к катушкам электромагнита через контактные кольца и щетки, что является узлом невысокой надежности, требующим к себе постоянного внимания.

В ДонГТУ создано электромагнитное импульсное формовочное устройство типа ЭФУ-2 с двумя металлическими соленоидами производительностью 4 т/час и с плотностью набивки формовочного материала порядка 60 единиц, два образца которого внедрены в условиях ПО Ижевский мотозавод. Первый образец такого устройства с одним металлическим соленоидом имел производительность 0,7 т/час [14].

**ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРИТОВ.** На рис.2 представлена классификационная таблица различных типов электромагнитных полей, применяемых в технологических процессах производства ферритов. Обзор патентной и технической литературы показал наличие большого интереса к различным способам и устройствам формования ферритов в электромагнитных полях. Из 45 авторских свидетельств и патентов наибольшее число разработок выполнено в Японии (17 патентов) и в СССР (16 авт. свид.).

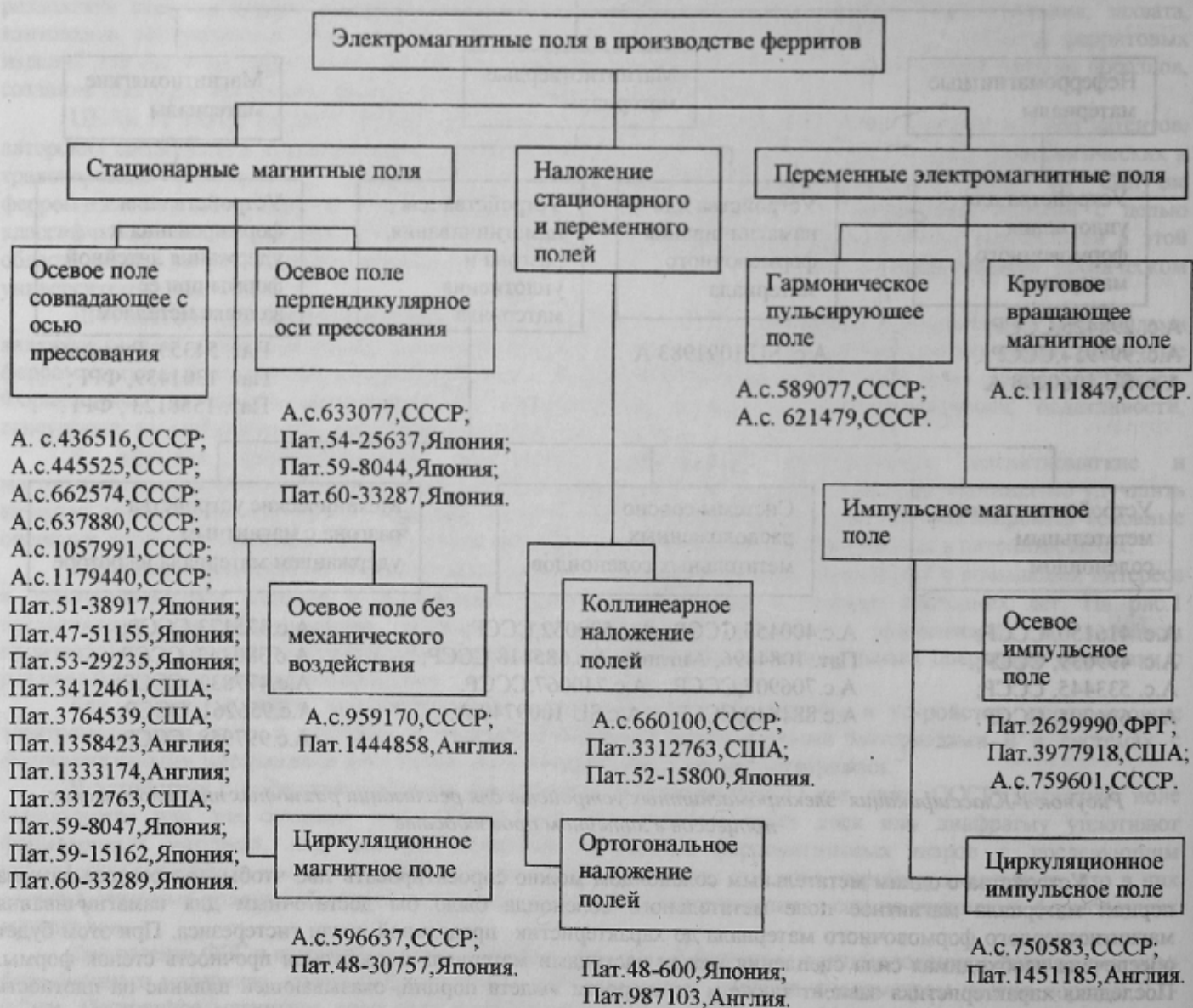


Рисунок 2 – Классификация типов электромагнитных полей, применяемых в производстве ферритов.

В производстве ферритовых изделий используются различные способы формования в зависимости от желаемого вида изделия. Наиболее распространенными являются следующие: прессование на гидравлических прессах в металлических прессформах; горячее литье под давлением; мундштучное прессование на экструзионных машинах; метод прокатки ферритовой ленты. С целью улучшения магнитных и технологических характеристик ферритов применяются электромагнитные поля различной пространственно-временной конфигурации, которые воздействуют на изделие в процессе его формования или по окончании формования. Предпочтительным является изготовление образцов с одновременным наложением поля и формирующих механических сил, так как при этом сокращается время изготовления изделий и удается достичь лучших магнитных характеристик благодаря большей подвижности частиц.

Для создания больших значений магнитной энергии бариевых гексаферритов за счет ориентации однодоменных кристаллов с одной осью легкого намагничивания применяют осевые стационарные и импульсные магнитные поля, которые прикладывают вдоль направления прессования или перпендикулярно к нему, а для получения анизотропных поликристаллических феррооксидов, характеризующихся плоскостью легкого намагничивания, используют круговое магнитное поле, вращающееся в плоскости, перпендикулярной оси прессования.

Устройства и способы формования ферритов в стационарных магнитных полях, совпадающих с осью прессования, представлены наибольшим числом патентов и авторских свидетельств (17) и используются для увеличения аксиальной составляющей магнитной индукции и выхода годных ферритов, для повышения плотности и магнитной энергии магнитотвердых ферритов, для получения высокоориентированных ферритовых материалов, для создания ферритового материала с повышенной термической стабильностью, для повышения магнитной проницаемости, противокоррозионных свойств и производительности.

Устройства и способы прессования ферритов в стационарных магнитных полях, перпендикулярных оси прессования, также используются для повышения плотности и магнитной энергии ферритов, а также для повышения магнитных и антифрикционных свойств.

С целью улучшения динамических параметров магнитострикционных ферритовых сердечников и их временной стабильности, а также повышения магнитной энергии материала используют постоянное циркуляционное магнитное поле (вдоль оси цилиндрического образца феррита пропускают постоянный ток и цилиндр подвергают обжатию по боковой поверхности).

Устройства и способы прессования ферритов в переменных электромагнитных полях используются для увеличения производительности операции сушки ферритовой суспензии и для увеличения магнитной энергии, плотности и выхода годной продукции при производстве магнитов сложной формы.

С целью увеличения начальной магнитной проницаемости гексаферритов и получения текстурированных образцов с высокой степенью ориентации их доменной структуры используется разработанное в ДонГТУ устройство с круговым шаговым вращающимся магнитным полем [15].

Коллинеарное наложение переменного и постоянного магнитных полей применяется в комбинированных устройствах для регулирования пластичности материала, создания анизотропии магнитных свойств и увеличения удельной магнитной энергии образцов. Под воздействием переменного поля все частицы обрабатываемой смеси участвуют во вращательно-колебательном движении, что приводит систему в бесструктурное или слабоструктурное состояние и смесь приобретает свойство текучести и хорошо заполняет форму. При последующем наложении постоянного магнитного поля возникает требуемая анизотропия магнитных свойств изделия.

Ортогональное наложение переменного и постоянного магнитных полей используется в комбинированных устройствах для регулирования степени магнитной анизотропии пленочных покрытий при сохранении неизменными других магнитных свойств и для создания требуемой магнитной структуры изделия.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена классификация электромагнитных устройств, использующих непосредственное силовое воздействие электромагнитных полей на формовочный материал в литейном производстве, которая выполнена по технологическим операциям формовки для трех типов формовочных материалов: традиционные песчано-глинистые смеси, магнитномягкие и магнитотвердые формовочные материалы.

2. Показана перспективность магнитной формовки с применением магнитотвердых формовочных материалов и электромагнитных импульсных формовочных устройств с одним или несколькими магнитными соленоидами.

3. Создано в ДонГТУ электромагнитное импульсное формовочное устройство с магнитотвердым формовочным материалом производительностью 4 т/час при плотности набивки материала в опоку порядка 60 единиц и внедрено в условиях ПО Ижевский мотозавод.

4. Предложена классификация типов электромагнитных полей в устройствах и способах формования ферритовых изделий в электромагнитных полях, выполненная по временным и пространственным характеристикам полей. Наибольшее число разработок в этой области приходится на Японию и СССР.

5. Установлено, что основным способом получения текстурированных ферритовых изделий является способ их изготовления с одновременным наложением ориентирующего магнитного поля и формирующих механических сил. Ориентацию однодоменных кристаллов с одной осью легкого намагничивания



целесообразно производить в осевых магнитных полях, а поликристаллических феррооксидов, характеризующихся плоскостью легкого намагничивания, - в круговом вращающемся магнитном поле.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Техническая электромагнитная гидродинамика. Труды №20(4) ДонНИИчермета. Министерство черной металлургии УССР. Донецк. 1970. -219с.
2. Движение гетерогенных сред в сильных магнитных полях. Сборник статей. УНЦ АН СССР. Отв. редактор Кирко И. М. Свердловск. 1978. - 219 с.
3. Применение магнитной гидродинамики в металлургии. Сборник статей УНЦ АН СССР. Отв. редактор Кирко И. М. Свердловск. 1977. -139 с.
4. Левшин Г.Е., Никифоров А.П., Черногоров П.В. Устройства для магнитной формовки. Литейное производство. -1975, №3. -с.25-26.
5. Гриднев Ю.Г. и др. Применение электромагнитных полей в дробебетных устройствах. Литейное производство. -1980, №10. - с.24-25.
6. Эсауленко В.А., Корощенко А.В., Черников В.Ю. Анализ вопроса применения электромагнитных полей при изготовлении разовых литейных форм. Деп. в УкрНИИТИ 04.11.87. №3063, 1987. -18с.
7. Штокман И.Г. Основы создания магнитных транспортных установок. -М.: Недра, 1972. -192с., ил.
8. Верников А.Я. Магнитные и электромагнитные приспособления в металлообработке. -М.: Машиностроение, 1984. -160с., ил.
9. Мерзлякин Э.С. Разработка электромагнитного подъемника сыпучего ферромагнитного материала в системе утилизации тепла газотурбинных установок. Доклады региональной научной конференции "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность". Секция 4. "Актуальные проблемы вычислительной техники, информатики и энергетики". Часть 2. -Донецк: ДонГУ, 1995. -с.53-54.
10. Эсауленко В.А., Никорюк Н.С., Корощенко А.В. Анализ вопроса применения электромагнитных полей в устройствах формования ферритовых изделий. Деп. в УкрНИИТИ 22.12.87. №3270, 1987. -24с.
11. Ягло Г.И., Котенев А.С., Наследников Ю.С. Формирование структуры магнитов из порошка феррита бария в переменном-постоянном магнитном поле. Тезисы докладов 7-ой Всесоюзной конференции по ферритам. ч.2. -Донецк. ВНИИреактивэлектрон. 1983. -с.76.
12. Эсауленко В.А., Никорюк Н.С., Малахов С.К. Обоснование способа формования феррооксидов в магнитном поле. Деп. в УкрНИИТИ 06.01.1988. №166, 1988. -12с.
13. Никорюк Н.С., Эсауленко В.А., Немолякина Л.Г. Применение электромагнитных полей в устройствах прессования ферритов. Тезисы докладов 7-ой Всесоюзной конференции по ферритам. ч.2.-Донецк. ВНИИреактивэлектрон. 1983. -с.92.
14. Эсауленко В.А., Черников В.Ю. Разработка электромагнитного импульсного формовочного устройства для намагничивания, разгона и уплотнения формовочного материала. Электромеханика и электроэнергетика. Сборник научных трудов энергетического факультета. -Донецк: ДонГУ, 1996. -с.167-172.
15. Эсауленко В.А. и др. Устройство для прессования ферритового порошка в магнитном поле. Авт. свид. №1111847. Бюл. изобр. №33, 1984. -12с.