



УДК 621.318.12

ОБЗОР РОССИЙСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ИЗ МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. Король, И.М. Ланкин, М.В. Ланкин corolvalera@yandex.ru

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

В статье приведен обзор российских производителей постоянных магнитов с целью сформировать представление об индустрии производства магнитов, особенно магнитов из редкоземельных материалов, таких как неодим-железо-бор и самарий-кобальт

Ключевые слова: постоянный магнит, индустрия, производитель, редкоземельные металлы, NdFeB, SmCo, производство

OVERVIEW OF RUSSIAN MANUFACTURERS OF PERMANENT MAGNETS MADE OF MAGNETIC HARD MATERIALS

V.I. Korol, I.M. Lankin, M.V. Lankin

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

The article reviews Russian permanent magnet manufacturers in order to form an idea of the magnet manufacturing industry, especially magnets made of rare earth materials such as neodymium-iron-boron and samarium-cobalt

Keywords: permanent magnet, industry, manufacturer, rare earth metals, NdFeB, SmCo, production

В настоящее время постоянные магниты используются повсеместно – в составе измерительных приборов, металлодетекторов, генераторов, электродвигателей, сепараторов и фильтров, гидравлических систем, химических и атомных реакторов. Постоянные магниты используют в сферах нефте- и газодобычи, строительстве, а также медицинской и машиностроительной отрасли, включая военно-ориентированное производство.

Одним из самых старых, но всё ещё актуальных видов постоянных магнитов, является сплав *AlNiCo* (альнико – международное, ЮНДК – российское наименование), которые были впервые разработаны в 30-х годах 20-го века. Слово *AlNiCo* является аббревиатурой, образованной объединением химических символов алюминия, никеля и кобальта. Магниты на основе сплава *AlNiCo* по-прежнему играют важную роль из-за их способности выдерживать высокую температуру до 550 °С, а также высокой температурной и временной стабильности по сравнению с ферритами и редкоземельными магнитами.

К литым магнитам относятся также магниты на основе сплава *FeCrCo*, их отличает стабильность магнитных свойств. Однако такие магниты обладают низкой коэрцитивной силой относительно магнитов, созданных на основе редкоземельных материалов. Для магнитов *AlNiCo* диапазон коэрцитивной силы по магнитной индукции составляет 40-120 кА/м в соответствии с ГОСТ 17809-72, а для *FeCrCo* – 20-48 кА/м в соответствии с ГОСТ 24897-81. Прецизионный сплав железо-никель-алюминий может иметь коэрцитивную силу до 145 кА/м.

На рисунке 1 представлены характеристики размагничивания литых магнитотвердых материалов.

Пунктиром выделены области максимального энергетического произведения, границы которых указаны в кДж/м³.

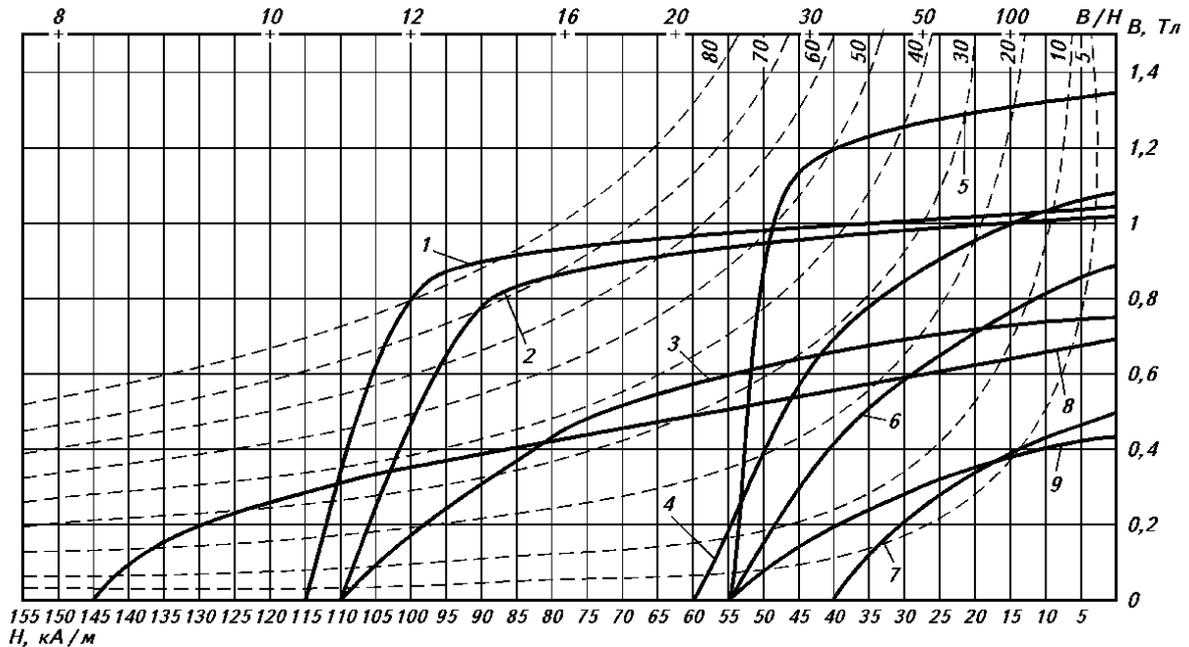


Рис. 1 - Характеристики размагничивания литых магнитотвердых материалов.

1 - ЮНДКТ5АА; 2 - ЮНДКТ5БА; 3 - ЮНДКТ5; 4 - ЮНДК; 5 - ЮНДКБ;
6 - ЮНДКИ; 7 - ЮНД4; 8 - ЮНДКТ8; 9 - ЮНТС

Магнитотвердые материалы, такие как $NdFeB$ и $SmCo$, созданные на основе редкоземельных металлов, отличаются повышенными магнитными свойствами. Коэрцитивная сила по магнитной индукции для неодимовых магнитов составляет от 680 до 920 кА/м и выше, и 540-780 кА/м для самарий-кобальтовых. Особенностью магнитов на основе сплава $NdFeB$ является возможность изготавливать магниты различных форм и размеров, их стойкость к размагничиванию, высокие магнитные характеристики и невысокая стоимость. Магнитные свойства неодимовых магнитов изображены на рисунке 2.

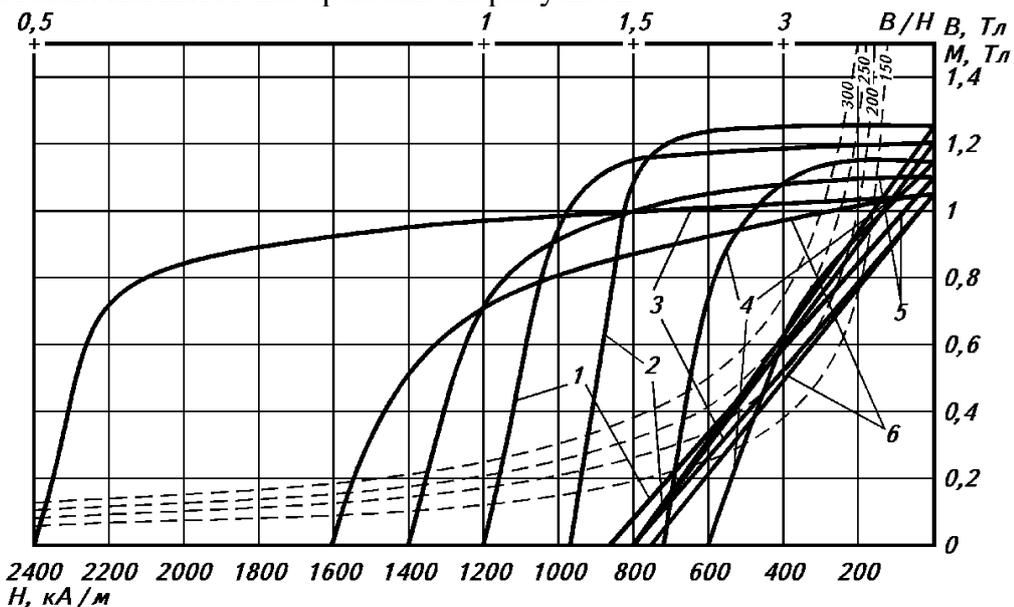


Рис. 2 - Характеристики размагничивания неодимовых материалов.

1 - Нм28Ди4Р; 2 - Нм32РА; 3 - Нм25Ди8Р; 4 - Нм36Р; 5 - Нм32Ди4Р; 6 - Нм30Ди6Р



Более высокие магнитные свойства по сравнению с литыми и ферритовыми магнитами, позволяют изготавливать устройства с меньшим весом и размером, а значит и большим коэффициентом полезного действия. К недостаткам неодимовых магнитов можно отнести относительно невысокую рабочую температуру (до $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$) и неустойчивость к агрессивным средам, которая устраняется нанесением, как правило, многослойных, защитных покрытий из цинка, меди, никеля или эпоксидной смолы.

Спеченные магниты – мелкий порошок NdFeB , получаемый методом многоступенчатого дробления, запрессовывается в форму, затем спекается, режется и шлифуется до нужного размера. Производство неодимовых магнитов – сложный и высокотехнологичный процесс, требующий соблюдения состава и содержания примесей. Все операции, кроме окончательной механической обработки, проводятся без доступа кислорода в вакууме или атмосфере инертных газов. Направление намагниченности задается текстурой магнитного поля во время прессования.

Магниты на основе сплавов кобальта с редкоземельными металлами $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ и SmCo_5 являются вторыми наиболее мощными магнитами после магнитов из NdFeB . Спеченные магниты $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ и SmCo_5 были разработаны в 1960-х и 1970-х годах соответственно. Технология изготовления магнитов на основе SmCo схожа с порошковой технологией изготовления магнитов из NdFeB .

Характеристики размагничивания самарий-кобальтовых магнитов изображены на рисунке 3.

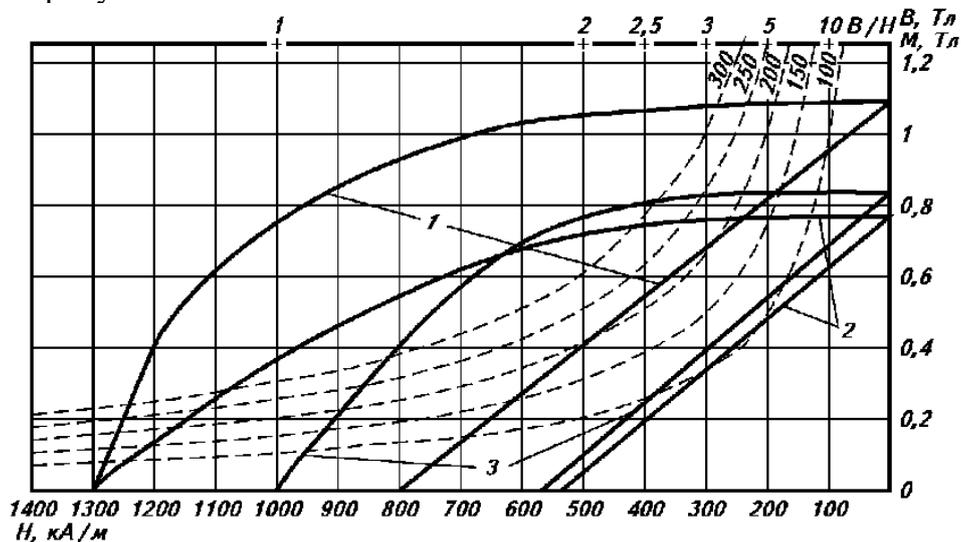


Рис. 3 - Характеристики размагничивания самарий-кобальтовых материалов.
1 - KC25ДЦ225; 2 - KC37; 3 - KC37A

Самарий-кобальтовые магниты используются в устройствах, где требуются магниты небольших размеров с высокой энергией, высокой температурой окружающей среды и температурной стабильностью. Кроме этого, эти магниты обладают высокой радиационной стойкостью, что делает их незаменимыми в авиационной и ракетной технике. Значение температурного коэффициента индукции (B_r) составляет $-0,035\%/^{\circ}\text{C}$ в отличие от $-0,11\%/^{\circ}\text{C}$ для магнитов на основе NdFeB . Спеченные постоянные магниты SmCo применяются при разработке



специальных устройств с особо жесткими требованиями к объему и весу изделия, например вентильных двигателей для погружных нефтяных насосов.

Самарий-кобальтовые магниты имеют более высокую стоимость относительно других видов постоянных магнитов, а также имеют низкую стойкость к механическим воздействиям.

Эффективность использования магнитов в вышеописанных сферах деятельности напрямую зависит от качества, стоимости и распространенности применяемых постоянных магнитов. Обеспечением магнитами отраслей производства на российском рынке занимается несколько компаний-производителей, составляющих конкуренцию зарубежным предприятиям.

Среди них - АО НПО «Магнетон» - крупнейший российский производитель [1] постоянных магнитов, магнитных систем и сепараторов, базирующийся в городе Владимир.

Акционерное общество НПО "Магнетон" является правопреемником конструкторского бюро постоянных магнитов с опытным заводом, которое было образовано в 1969 году. Сегодня АО НПО "Магнетон" - это динамично развивающаяся компания с постоянным увеличением объема производства и ростом экспорта производимой продукции.

Объединение является участником российских и международных выставок, отмечено дипломами и награждено медалями. На базе объединения ежегодно проводятся различные международные научно-практические совещания по постоянным магнитам. Высокий технический уровень производства и продукции обеспечивается комплексом мероприятий системы менеджмента качества.

«Магнетон» производит магниты типов *AlNiCo*, *NdFeB*, *SmCo*. Отличительной особенностью этого предприятия является применение метода зонного переплава для выращивания монокристаллических магнитов. Такие магниты обладают коэрцитивной силой на уровне самых качественных магнитов *AlNiCo* – примерно 120 кА/м, хорошей термостабильностью и механической прочностью. Главный недостаток монокристаллических магнитов - высокая стоимость.

Система менеджмента качества АО НПО "Магнетон" соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015, дополнительным требованиям ГОСТ РВ 0015-002-2012 и других применяемых военных стандартов СРПП ВТ.

Также в 1991 году в городе Калуга было основано [2] НПО «ЭРГА», выпускающее неодимовые и самарий-кобальтовые магниты. Также выпускаются магнитные сепараторы, захваты, траверсы, металлодетекторы и высокоэффективные электрические машины серии ВЭЛМА, способные работать как в режиме двигателя, так и генератора.

Производство высокоскоростных электрических машин ВЭЛМА сосредоточено на 8000 кв. метрах производственных площадей. Численность персонала компании более 200 человек.

Предприятие обладает современным металлорежущим и испытательным оборудованием, необходимым для решения задач при производстве и испытании ВЭЛМА. Важным моментом быстроходных электрических машин ВЭЛМА на постоянных магнитах является проведение входного контроля службой ОТК,



поступающих на склад предприятия материалов. В 2019 году проект «ВЭЛМА» был выделен в отдельное юридическое лицо: ООО «ВЭЛМА».

Собственный научно-технический потенциал предприятия позволяет НПО «ЭРГА» в сжатые сроки разрабатывать эффективные решения сложных инженеринговых задач в области электрических машин и силовой электроники, зачастую не имеющие аналогов как в России, так и за её пределами. Ведение активной научно-исследовательской деятельности даёт предприятию возможность не только совершенствовать и расширять номенклатуру основной продукции, но и участвовать в уникальных проектах федерального масштаба, в частности, в проектах Федерального космического агентства (РОСКОСМОС) и инновационного центра «Сколково».

На предприятии внедрена система менеджмента качества *ISO 9001*.

Помимо этого, существует группа компаний «АМТ&С Group», представленная следующими предприятиями [3]:

- ООО «Полимагнит» (Москва, Новосибирск, Санкт-Петербург, Киев),
- ООО «Перспективные магнитные технологии и консультации» (Москва, Троицк),
- ООО «Магнетит» (Боровск),
- ООО «Фрязинские магнитные технологии» (Технопарк Сколково),
- ООО «Фармаг» (Москва), ООО «Русские Магниты» (научоград Фрязино).

Группа компаний *АМТ&С* специализируется на разработке и изготовлении изделий бытового, промышленного и оборонного назначения на основе постоянных магнитов и электромагнитных систем.

Научно-исследовательская активность ГК *АМТ&С* базируется на более чем 40-летнем научно-практическом опыте в области магнетизма и его приложений и сосредоточена на таких современных областях прикладного магнетизма как энергонезависимые отсечные газовые клапаны, электроприводы и электромашины с предельно высокими значениями КПД до 98.5 %, подрессоренных мотор-колесах, научное приборостроение и магнитные системы для управления эндоскопическим капсулами для обследования ЖКТ.

Потенциал ГК *АМТ&С* также реализован в конструировании и производстве широкого спектра источников магнитного поля для науки и промышленности. Группа более 20 лет производит магнитные сепараторы и железоотделители почти всех существующих типов и моделей.

ГК *АМТ&С* ведет научно-технологические разработки в области магнитной гипертермии, прецизионной контролируемой магнитным полем адресной десорбции лекарственных препаратов, магнитного охлаждения, а также методов изготовления наноразмерных и наноструктурированных материалов.

Авторские права и право на коммерческое использование созданных магнитных технологий и материалов и товарных знаков оформлены в виде более 50 патентов, сертификатов и разрешений. В компаниях группы *АМТ&С* действуют самые высокие международные стандарты качества.

Группа компаний *АМТ&С* является финалистом национального рейтинга Российских быстрорастущих технологических компаний «Техуспех».



Также на российском рынке существует предприятие [4] ООО "НПК "МАГНИТЫ И СИСТЕМЫ", г. Санкт-Петербург, которое ведет свою деятельность с 2005 года. Компания специализируется на производстве и поставке постоянных магнитов на основе редкоземельных сплавов $NdFeB$, $SmCo$, магнитов $AlNiCo$, Ферритовых магнитов, магнитного винила, а также изделий с использованием постоянных магнитов (магнитные системы, магнитные решетки, магнитные сборщики, коллекторы, грузозахваты, магнитные крепежи, поисковые магниты и др.).

Помимо этого, изготовлением и продажей магнитов $NdFeB$, $SmCo$ и $AlNiCo$ с 2010 года занимается московская научно-производственная компания «Элматех» [5]. Компания обладает производственными площадками в России и КНР, что позволяет ей оснащать магнитами автомобильную, нефтедобывающую, авиационную отрасли, а также оборонный комплекс.

Кроме вышеперечисленных, в Свердловской области существует компания [6] ООО «ПОЗ-Прогресс», которая была основана в конце 1960-х годов с участка по производству постоянных магнитов, организованного на Пышминском опытном заводе «Гиредмет». Компания производит высокоэнергетические редкоземельные постоянные магниты на основе сплавов $SmCo$ и $NdFeB$, разрабатывает и изготавливает магнитные системы с постоянными магнитами, а также оказывает консалтинговые услуги в области проектирования магнитных систем. Потребителями продукции выступают предприятия электронной, электротехнической, авиационной, горнодобывающей, нефтегазодобывающей, машиностроительной, металлургической, пищевой, текстильной; и многих других отраслей промышленности, военно-промышленного комплекса, а также научно-исследовательские учреждения.

ООО "ПОЗ-Прогресс" помимо производства магнитов занимается разработкой и изготовлением устройств и механизмов с их использованием. Так магнитные сепараторы с успехом работают на предприятиях металлургической, горнодобывающей и строительной промышленности

Предприятие расположено на территории АО «Уралредмет», и занимает площадь более 3500 м², а штат насчитывает более 70 человек. В 2018 году ООО "ПОЗ-Прогресс" успешно прошло добровольную сертификацию по стандарту ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

Одним из крупнейших [7] предприятий России является московская фирма АО «СПЕЦМАГНИТ» – разработчик и производитель постоянных магнитов и магнитных элементов и систем на основе этих магнитов для электроники, электротехники и приборостроения, создано распоряжением Совета Министров Российской Федерации в 1963 г.

Предприятие выпускает все современные виды постоянных магнитов за исключением ферритов, а именно: магниты на основе сплавов железо-алюминий-никель-медь-кобальт – ЮНДК ($AlNiCo$); магниты на основе сплавов железо-хром-кобальт – ХК; магниты на основе сплавов самарий-кобальт КС37 и КС25ДЦ – $SmCo_5$ и $(Sm,Zr)(Co,Cu,Fe)$ (Sm_2Co_{17}); магниты на основе сплавов неодим-железо-бор – $NdFeB$.

На основе магнитов собственного производства предприятие выпускает магнитные элементы и системы (МЭС) для различных областей применения:



МЭС для фокусировки и транспорта электронных потоков электровакуумных приборов; магнитные сепараторы и металлоотделители (железоотделители) для очистки от ферромагнитных загрязнений продукции пищевых, кормовых, химических, стекольных производств и производства строительных материалов; МЭС для обработки воды и водных растворов в целях предотвращения образования и ликвидации уже отложившейся накипи; магнитные муфты и магнитные фильтры; МЭС роторов электрических машин; МЭС диагностических комплексов неразрушающего контроля; МЭС грузоподъемных механизмов и пр.

С 1992 года на предприятии действует Государственный центр испытаний средств магнитных измерений — единственный в стране специализированный центр магнитных измерений в области магнитотвердых материалов и постоянных магнитов, аккредитован Госстандартом РФ в 1993 и 2003 гг. и внесён в Госреестр СИ (рег. № 30019-93/03).

Предприятие является коммерческой научно-производственной организацией и входит в холдинг АО «Росэлектроника» ГК «Ростех». Валовая прибыль за 2019 год составила почти 74 млн рублей.

Ещё одной компанией по производству и поставкам постоянных магнитов из редкоземельных сплавов является ООО «Магнитные системы», г. Москва [8]. Компания «Магнитные системы» занимается разработкой и производством магнитной продукции более 10 лет. Для сложных проектов привлекаются консультанты из Германии и США, владеющие инновационными технологиями. Помимо собственного производства, предлагается продукция от партнеров из Китая.

В общем и целом, в российском сегменте производства, индустрия получает развитие. Как видно из рисунка 4, за последние годы объём производства увеличивается, хотя показатели импорта и экспорта нестабильны. На российском рынке постоянных магнитов импортные поставки за пять лет выросли на 99,9% и достигли 43,79 млн. долл, в то время как в 2015 году данное значение составляло 21,9 млн.долл [9].

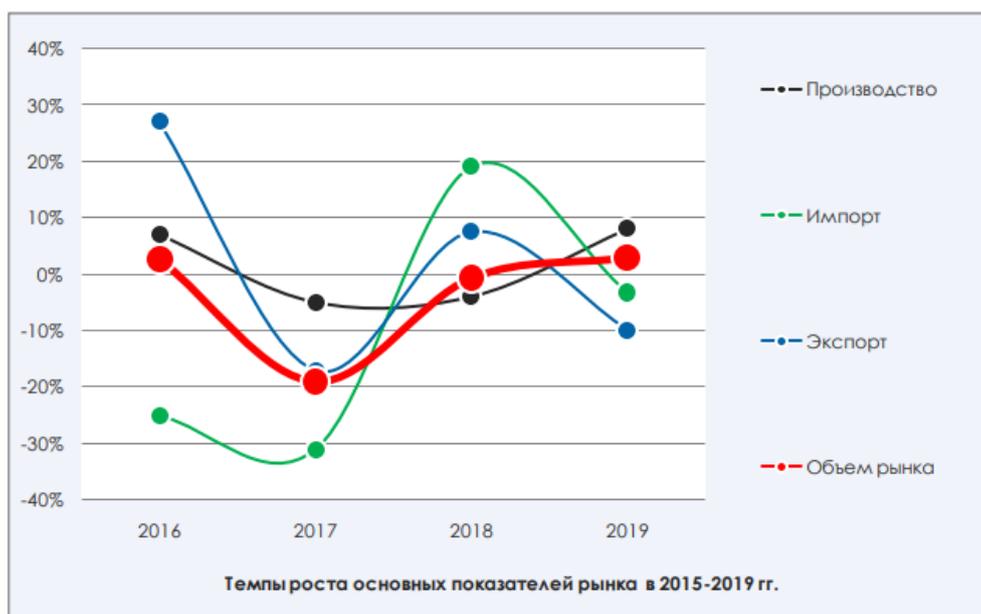


Рис. 4 - Темпы роста основных показателей рынка постоянных магнитов в 2015-2019 гг

**Список используемых источников**

1. НПО «Магнетон» - разработчик и производитель постоянных магнитов и систем на их основе: сайт. Владимир, 2020. URL: <http://tdmagneton.ru> (дата обращения: 20.10.2020)
2. ВЭЛМА – высокооборотистые двигатели, генераторы на постоянных магнитах: сайт - Калуга: 2020. URL: <https://w-elma.com> (дата обращения: 20.10.2020)
3. AMT&C Group – magnetic system fo magnetic field measurement, magnetocaloric effect measurement: сайт - М., 2020. URL: <https://www.amtc.org> (дата обращения: 21.10.2020)
4. Постоянные магниты любых размеров и форм. Производство и поставка редкоземельных магнитов | НПК «Магниты и системы: сайт - Санкт-Петербург, 2020. URL: <https://magnet-prof.ru> (дата обращения: 22.10.2020)
5. ООО «Элматех» - производство неодимовых магнитов и систем: сайт - М.: 2020. URL: <http://elmatech.ru> (дата обращения: 22.10.2020)
6. ПОЗ-Прогресс – производство постоянных магнитов: сайт - Верхняя Пышма: 2020. URL: <http://www.poz-progress.ru> (дата обращения: 24.10.2020)
7. АО «Спецмагнит» - производитель магнитов, магнитных систем, элементов: сайт - М.: 2020. URL: <http://s-magnet.ru> (дата обращения: 24.10.2020)
8. ООО «Магнитные системы» - производство и продажа постоянных магнитов: сайт - М.: 2020. URL: <https://www.magsys.ru> (дата обращения: 24.10.2020)
9. Рынок постоянных магнитов в России // Аналитическая компания Tebiz Group - М.: 2020, 114 с.

© В.И. Король, И.М. Ланкин, М.В. Ланкин, 2020